TÜBİTAK

58 yaşında

Bilim ve Teknik

Aylık Popüler Bilim Dergisi Haziran 2025 Yıl 58 Sayı 691 - 29 TL

MİKROPLASTİKLER HER YERDE!

Mikroplastikler doğayı, hayvan ve insan sağlığını tehdit ediyor.

Formula 1'in "Yer Uçakları"

Ay'a Yolculuk

Hayvan Sürülerinin Fiziği

Asırlık Üçgen-Kare Dönüşüm Bulmacası

ISSN 1300-1337

"Benim mânevi mirasım ilim ve akıldır."
Mustafa Kemal Atatürk

Bilim ve Teknik

Aylık Popüler Bilim Dergisi
Yıl 58 Sayı 691
Haziran 2025

İmtiyaz Sahibi
TÜBİTAK Adına Başkan
Prof. Dr. Orhan Aydın

Genel Yayın Yönetmeni ve Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Ömer Kökçam

Dergiler Müdürü
Kübra Bal Çetinkaya

Yayın Yönetmeni
Dr. Özlem Kılıç Ekici

Editör
Dr. Tuba Sarıgül

Yayın Danışma Kurulu
Ömer Kökçam
Fatma Başar
Kübra Bal Çetinkaya
Dr. E. Sümeyra Turalı Emre
Prof. Dr. Ersin Göğüş
Dr. Berat Z. Haznedaroğlu
Dr. Yeşim İmamoğlu
Prof. Dr. Raif Kandemir

Araştırma ve Yazı Grubu
Dr. Özlem Ak
Mesut Erol
Dr. Mahir E. Ocak
Dr. Tuba Sarıgül
İlay Çelik Sezer
Hayriye Yetiş Avcı

Redaksiyon
Berranur Beşir
Mehmet Sığırcı

Grafik Tasarım
Ayşe Dilara Cumhur
Hüseyin Diker

Web-Mobil Uygulama-Sosyal Medya
Dr. Tuba Sarıgül
Rıza Berkay Ayçelebi
Ebru Yavuz

Mali Yönetmen
Adem Polat

Mali ve İdari Hizmetler
Pınar Kaya

İletişim Bilgileri
TÜBİTAK Bilim ve Toplum Başkanlığı
Dergiler Müdürlüğü
Bilim ve Teknik Dergisi
Remzi Oğuz Arık Mah.
Tunus Cad. No:80
06540 Çankaya ANKARA
bteknik@tubitak.gov.tr
bilimteknik.tubitak.gov.tr

Abone İlişkileri
abone@tubitak.gov.tr
yayinlar.tubitak.gov.tr

Baskı
Başak Matbaacılık Tanıtım
Hizmetleri İth.İhr. A.Ş.
basakmatbaa.com

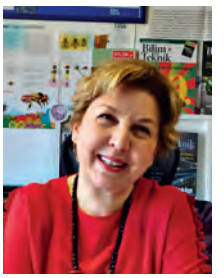
Baskı Tarihi 21.05.2025

Dağıtım Turkuvaz Dağıtım Pazarlama A.Ş.
tdp.com.tr

Bilim ve Teknik Dergisi, Milli Eğitim Bakanlığı [Tebliğler Dergisi, 30.11.1970, sayfa 407B, karar no: 10247] tarafından lise ve denqi okullara; Genelkurmay Başkanlığı [7 Şubat 1979, HRK: 4013-22-79 Eğt. Krs. Ş. sayı Nşr.83] tarafından Silahlı Kuvvetler personeline tavsiye edilmiştir.

ISSN 977-1300-3380
Fiyatı 29 TL (KDV Dahil)

Her ayın 1'inde çıkar.



Dünyada yılda yaklaşık 450 milyon ton plastik üretiliyor ve bunun sadece %9'u geri dönüştürülüyor, geri kalanı ise doğaya karışıyor. Çapı 5 mm'den küçük plastik parçaları olarak tanımlanan mikroplastiklerin çoğu doğada zamanla parçalanan büyük plastik kirleticilerden kaynaklanıyor. Ancak bir kısmı da boya, kozmetik ve temizlik malzemeleri gibi günlük hayatta kullanılan ürünlere doğrudan ekleniyor. İçtiğimiz sudan yediğimiz yiyeceklere, giydiğimiz kıyafetlerden soluduğumuz havaya kadar her yerde var olan mikroplastikler Antarktika'dan Arktik'e kadar dünyanın en ücra köşelerinde bile tespit ediliyor. Asıl endişe veren şey ise bu plastik parçacıkları doğayı, hayvan ve insan sağlığını tehdit ediyor.

Özlem Ak bu ayki yazısında havadan okyanusa, topraktan soframıza kadar kontrolsüz bir şekilde yayılan mikroplastik tehlikesine dikkat çekerek yapılan son çalışmalar ışığında mikroplastikler konusunu detaylıca ele alıyor. Ülgen Aytan ise Türk bilim insanlarının Antarktika'da mikroplastik kirliliğinin tespit edilmesi üzerine gerçekleştirdiği bilimsel çalışmalardan bahsediyor.

Gürkan Caner Birer, Formula 1 yazı serisine kaldığı yerden devam ediyor ve günümüz Formula 1 arabalarını bu kadar özel kılan başlıca teknolojik yenilikleri anlatıyor. Alp Akoğlu bu ayki yazısında Ay'a dönüş amaçlı uzay görevlerinin neden yıllar sonra yeniden gündemde olduğunun cevabını vererek bu tür görevlerin ne tür zorluklar barındırdığını da anlatıyor. Mahir Ocak, hayvan sürülerinin toplu hareketlerini açıklayan fiziksel modeller kullanılarak geliştirilecek algoritmalar sayesinde gelecekte bir gün koyun sürülerini güden robotlar ya da insansız hava araçları geliştirmenin mümkün olabileceğinden bahsediyor. İlay Çelik Sezer ise 122 yıllık üçgen-kare dönüşüm bulmacasının çözümünün doğruluğunun nasıl kanıtlandığını ilginç örneklerle açıklıyor.

Farklı ilgi alanlarına hitap eden *Bilim ve Teknik* ile Büyüdüm, Bilim Haberleri, Bilim Çizgi, Tekno-Yaşam, Merak Ettikleriniz, Bilim Tarihinden Notlar, Doğa, Gökyüzü, Düşünme Kulesi, Satranç, Ayın Sorusu, Zekâ Oyunları ve Yayın Dünyası başlıklı köşelerimizi de beğenerek okuyacağınızı umuyoruz.

Bilim ve Teknik elektronik dergi arşivi (son dört sayı hariç) ücretsiz olarak herkesin erişimine açıktır (services.tubitak.gov.tr/edergi). Dergimizin daha düşük fiyata ve ücretsiz kargoyla sizlere ulaşacağı abonelik fırsatından faydalanmak, ayrıca hem yeni hem de eski sayılarımızı satın almak için yayinlar.tubitak.gov.tr adresini ziyaret edebilirsiniz. Dergimizin internet sayfasını (bilimteknik.tubitak.gov.tr), podcast kanallarını ve sosyal medya hesaplarını da takip edebilir, hayatınızdaki yerini ve size neler kattığını bizlerle paylaşabilirsiniz (bteknik@tubitak.gov.tr).

Nesiller büyüten dergimizin bu sayısını da ilgiyle okumanızı diliyor, sonraki sayılarımızı sabırsızlıkla bekleyeceğinizi umuyoruz.

Sağlıcakla ve bilimle kalın... Unutmayın #bilimokuyanbilir!

Saygılarımızla,
Özlem Kılıç Ekici

ISSN 1300338O
91
9 771300 338001

İçindekiler

4
***Bilim ve Teknik* ile Büyüdüm**
Özlem Ak

6
Haberler

32
Bilim Çizgi
Wilhelm Röntgen
Sinancan Kara

34
Antarktika'da Mikroplastik Kirliliği
Ülgen Aytan

36
Formula 1'in "Yer Uçakları"
Gürkan Caner Birer

48
Tekno-Yaşam
Gürkan Caner Birer

62
Merak Ettikleriniz
Mesut Erol

64
122 Yıllık Üçgen-Kare Dönüşüm Bulmacasının Çözümünün Doğruluğu Kanıtlandı
İlay Çelik Sezer

14

Plastik Çağının Gözle Görülmeyen Tehdidi Mikroplastikler Sınır Tanımıyor

Özlem Ak

Her yıl milyonlarca ton mikroplastik doğaya karışarak çevreyi, deniz yaşamını, besin zincirini, hayvan ve insan sağlığını tehdit ediyor.

78
Bilim Tarihinden Notlar
Ptolemaios'un Bilimsel Çalışmaları I
Hüseyin Gazi Topdemir

82
Doğa - Jeoloji
Peribacaları
Raif Kandemir

84
Gökyüzü
Tuba Sarıgül

88
Düşünme Kulesi
Ferhat Çalapkulu

90
Satranç
Kıvanç Çefle

93
Ayın Sorusu
Azer Kerimov

94
Zekâ Oyunları
Emrehan Halıcı

96
Yayın Dünyası
Özlem Kılıç Ekici

52
Alp Akoğlu
Ay'a Dönmek Neden Bu Kadar Zor?

70
Mahir E. Ocak
Hayvanların Toplu Hareketlerinin Dinamiği
Koyun Sürülerinin Fiziği

Bilim ve Teknik

tubitakbiltek

tubitakbilimteknik

TÜBİTAK Bilim ve Teknik

bilimteknik.tubitak.gov.tr/

Dergimizin içeriğinden seçerek hazırladığımız bilimsel ve teknolojik bilgileri *Bilim ve Teknik* dergisinin internet sitesi ve sosyal medya hesapları aracılığıyla takip edebilirsiniz.

*Dergimize "*Bilim ve Teknik *ile Büyüdüm!", "Düşünme Kulesi" ve "Ayın Sorusu" köşeleri ile ilgili içerik gönderen okurlarımız, "Kişisel Verileri Koruma Kanunu" kapsamında, paylaştıkları verilerin ve bilgilerin dergimiz tarafından yayınlanmasına açık rıza göstermiş sayılacaktır.*

Elektronik dergi arşivimiz (son dört sayı hariç) herkesin erişimine açıktır. Son dört aya ait sayılara sadece abonelerimiz erişim sağlayabilir.

TÜBİTAK Popüler Bilim Yayınları sitesinden dergilerimize abone olabilir, hem yeni hem de eski sayılarımızı satın alabilirsiniz.

Bilim ve Teknik podcast programı ile kulağınız her daim bilimde olsun! Podcast içeriklerimizi Spotify, YouTube Music, Apple Podcast ve SoundCloud'dan dinleyebilirsiniz.

Bilim ve Teknik ile Büyüdüm

Dr. Özlem Ak [*TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

Okurlarımızın *Bilim ve Teknik* dergisinin hayatlarındaki yerini, onlara neler kattığını, geleceklerine yön verirken nasıl bir rol oynadığını bizimle paylaştıkları mektuplarını yayımlamaya devam ediyoruz. *Bilim ve Teknik* ile ilgili anılarını, duygu ve düşüncelerini bizimle paylaşan okurlarımıza çok teşekkür ediyor, "*Bilim ve Teknik* bilimi sevmemde ve kariyerimi seçmemde rol oynadı" diyen okurlarımız için mektuplarını gönderebilecekleri adresimizi hatırlatıyoruz: bteknik@tubitak.gov.tr

"Bilimle olan bağım derinleşiyor"

Merhaba,

Uzun süredir *Bilim ve Teknik* dergisinin abonesi olarak her sayısını merakla ve büyük bir ilgiyle takip ediyorum. Derginiz, bilim dünyasının önemli gelişmelerini takip etmemi sağlayan, derinlemesine analizlerle bilgiye ulaşmayı kolaylaştıran yayınlardan biridir. Özellikle "Bilim Çizgi" köşesinin hem görsel hem de içerik açısından sunduğu derinlik ve yenilikçilik, görsel sanatlarla bilimin harmanlandığı en güzel örneklerden biri.

Derginizde yer alan "Gökyüzü" köşesi ve NASA verileri ise bende uzayın gizemlerine dair bir nevi "gizli bir astronom" hissi uyandırıyor. Özellikle dünya dışı keşifler ve astronomik olayların anlık verilerle sunulması hem profesyonel hem de amatör astronomlar için paha biçilmez bir kaynağa dönüşüyor. Bu veriler sayesinde insanlık olarak gökyüzüne dair derinlemesine bir anlayış geliştirdiğimizi hissediyor ve her geçen gün evrenin daha fazla sırrını çözmemiz gerektiği hissini yüreğimde taşıyorum. *Bilim ve Teknik*'in bu tarz içerikleri sayesinde bilimle olan bağımın daha da derinleştiğini belirtmek isterim. Her sayıda daha fazla öğrenmeye, keşfetmeye ve insanlığın evreni anlamadaki ilerleyişine tanıklık etmeye devam edeceğim. Hem bilimsel hem de modern teknolojiye dair sunduğunuz bu zengin içerikler için teşekkür ederim.

Seher Aras Mutlu

“Nice güzel bilimli günlere”

Merhaba,

İki yıldır *Bilim ve Teknik* dergisinin abonesiyim. Bu süre zarfında her sayısını okudum. Okudukça bilimin benim için ne kadar önemli ve hayatımın bir parçası olduğunu anladım. Şu an fen bilgisi öğretmenliği 3. sınıf öğrencisiyim. Mesleğim için edindiğim bütün bilgilerin birçoğunu *Bilim ve Teknik* dergisinden öğrendim ve daha çok şey öğreneceğime eminim. Nice güzel bilimli günlere.

Büşra Köseoğlu

“Benim ailem gibi”

Merhaba,

Sekiz yaşındayım ama *Bilim ve Teknik* dergisini okumayı çok seviyorum. Poster ekleri ve bilim insanlarının hayatlarını anlatan yazılar çok ilgimi çekiyor. Derginin her sayısını sabırsızlıkla bekliyorum ve sizleri çok seviyorum. Hepiniz ailemin birer parçası oldunuz, iyi ki varsınız.

Melissa Yıldırım

“Ne olduysa sizler sayesinde”

Merhaba,

Ben 8.sınıf öğrencisiyim. *Bilim ve Teknik* dergisi ile bu sene tanıştım. Daha önce *Bilim Çocuk* okuyordum. Babam *Bilim ve Teknik* dergisine beni abone yaptı. Dergiyi okumaya başladıktan sonra özellikle yapay zekâ ile tıbbı birleştirmeye, kendi kendime fikirler üretmeye başladım. Bu alana olan ilgim arttı, artık gelecek hedefimi biliyorum ve ne olduysa sizler sayesinde. Size ne kadar teşekkür etsem az. Bilimle kalmaya, dergimi okumaya ve sayenizde ufkumu genişletmeye devam edeceğim.

Eymen Sarper Sevinç

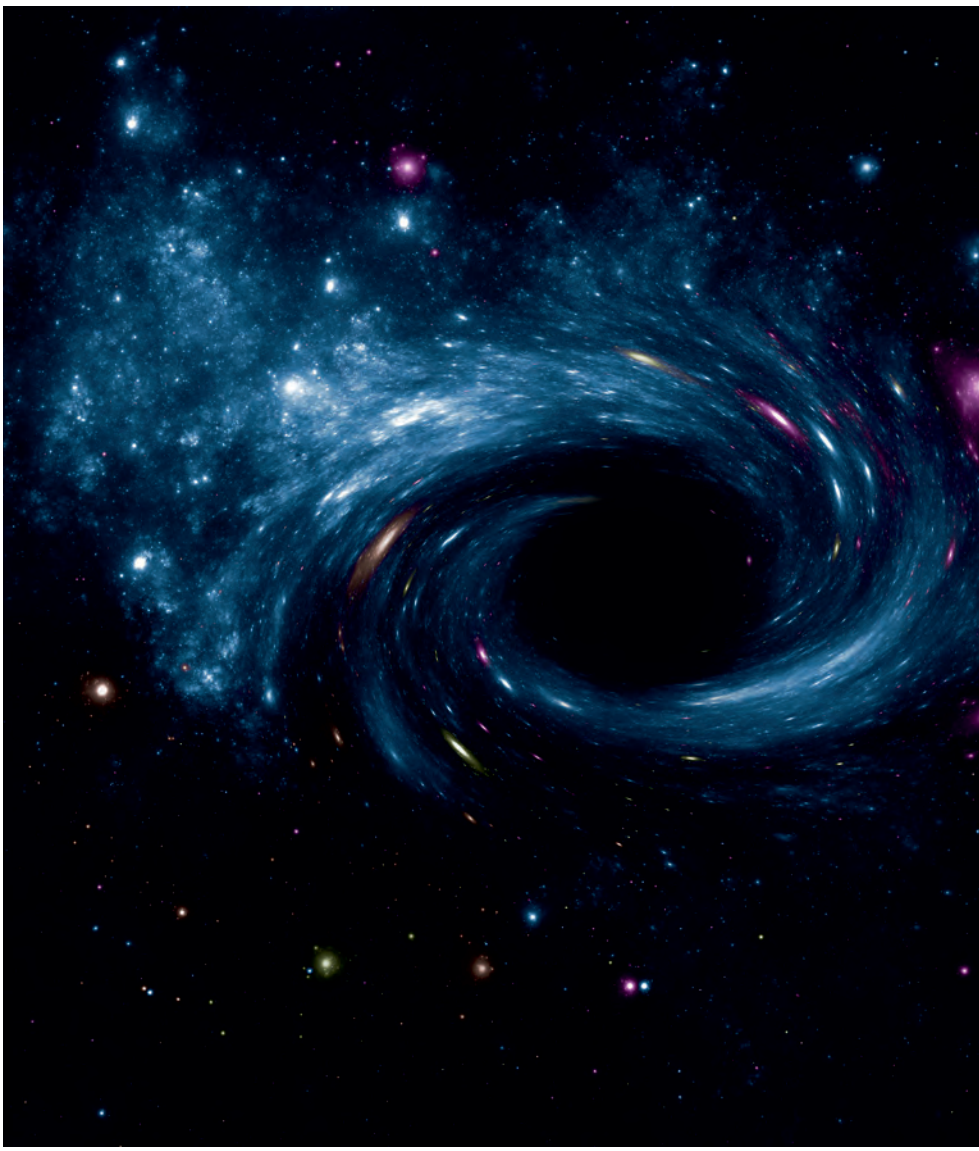
“Editörlükte yol göstericim *Bilim ve Teknik*”

Merhaba,

TÜBİTAK dergileriyle olan hikâyem 5 yaşındayken başladı. Okuma yazmayı öğrenmemin ardından raflarda hep gördüğüm o parlak ve rengarenk yayını annemin bana hediye etmesiyle yeni kavramlar edindim hayal dünyamda: “Editör”. Mutlaka her sayının giriş kısmındaki editörün yazdığı kısma bakar, imrenirdim ve saatlerce sadece yazılanları okur, verilen emeği düşünür, mest olurdum. İlkokulun ilk gününde büyüyünce yapmak istediğim meslek sorulduğunda cevabım hiç düşünmeden editörlük oldu. Sonra sınıf arkadaşlarıma ilkokul hayatım boyunca okuduklarımdan bahsettim. Hiç unutmuyorum, *Meraklı Minik*’in bir kimya sayısı vardı, kargoda kayboldu ve ben saatlerce ağladım. Araya yıllar, özellikle de pandemi girdi ve ben, beni özel yapan alışkanlıklarımdan biri olan dergileri unuttum. Lise hayatımın başlaması ile birlikte nörobilim ve psikoloji alanlarına daha fazla ilgi duymaya başladım, birçok makale okudum, okumaya da devam ediyorum. Sonrasında bir lise öğrencisi olarak bir dergi hazırlamaya karar verdim, böylece *MindScope* doğdu. Artık onlarca lise öğrencisi ile birlikte ilk sayımızı çıkarmaya hazırlanıyoruz ve ben en çok olmak istediğim yerde, baş editör konumundayım. Bugün bir kitapçıda gezerken ve reyonlardaki dergileri karıştırırken özellikle bir dergiyi örnek almam gerektiğini fark ettim ve elime aldığım ilk dergi ise *“Bilim ve Teknik”* oldu. Bu dergiden öğreneceğim çok şey olduğunu fark ettim. Bana kattığınız ve katacağınız her erdem için içtenlikle teşekkür ederim. Nice sayılarınızı okumak dileğiyle.

Ayşe Ela Erol

Haberler



Uzayda Yalnız Dolaşan Bir Kara Delik Keşfedildi

Mahir E. Ocak

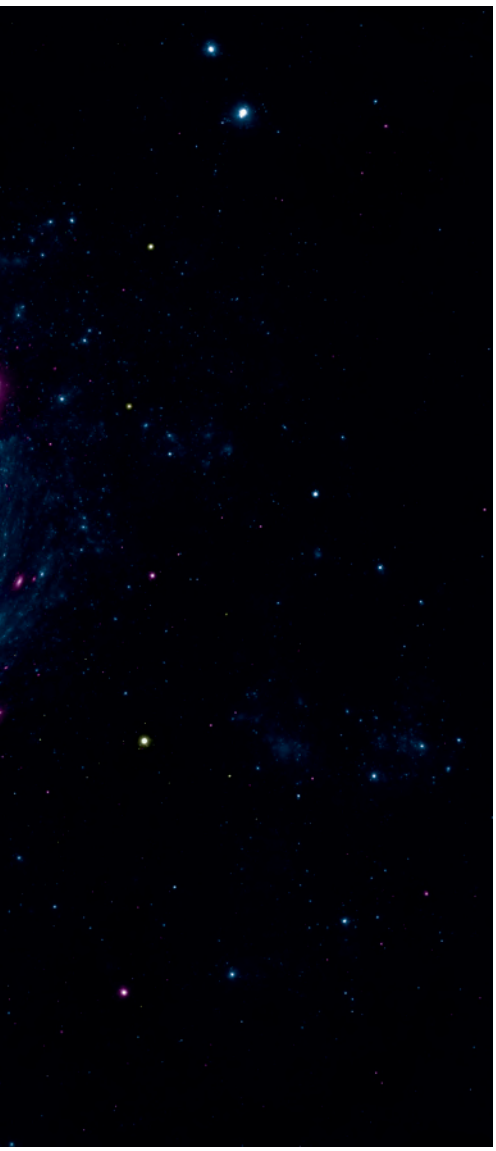
Bir grup gök bilimci birkaç yıl önce uzayda yalnız dolaşan bir kara delik keşfettiklerini iddia etmişti. Aynı araştırma grubu, *The Astrophysical Journal*'da yayımladıkları bir makalede iddialarını destekleyen bulgulara ulaştıklarını açıkladı.

Yakın zamanlara kadar bilinen tüm kara delikler, yakın çevresinde bir yıldız bulunan ve uzayda bu yıldızla birlikte hareket edenlerle sınırlıydı. Kütle çekiminden ışığın bile kurtulamadığı bu gök cisimlerini tespit etmek, ancak yakınlarındaki yıldızdan yayılan ışık üzerindeki etkileri sayesinde mümkün oluyordu.

2022 yılında bir grup gök bilimci, Sagittarius (Yay) Takımyıldızı içinde hareket eden "karanlık bir nesne" tespit ettiklerini açıklamış ve bunun bir kara delik olabileceğini iddia etmişti. Bir başka araştırma grubu ise aynı gök cisminin bir nötron yıldızı da olabileceğini ileri sürmüştü.

Tespit edilen gök cismine eşlik eden bir yıldız yoktu. Ancak gök cismi uzaydaki hareketi sırasında kendisine uzak bir yıldızın "önünden geçmiş" ve bu sırada yıldızdan Dünya'ya ulaşan ışık üzerindeki etkileriyle varlığını belli etmişti.

Tespit edilen gök cisminin bir kara delik olabileceği ile ilgili ilk iddia Hubble Uzay Teleskobu ile 2011-2017 yılları arasında yapılan gözlemlere dayanıyordu. Araştırmacılar, son çalışmalarında ise hem Hubble Uzay Teleskobu'nun 2021-2022 yıllarında yaptığı gözlemlerden hem de Gaia uzay sondasının topladığı verilerden yararlandı. Sonuçta 2022 yılında tespit edilen gök cisminin kütlesinin Güneş'inkinin yedi katı kadar olduğu



hesaplandı. Bu sonuç, gök cisminin bir nötron yıldızı olma ihtimalini ortadan kaldırdı.

Keşfedilen gök cismi, uzayda yalnız başına dolaştığı bilinen ilk kara delik olarak kayıtlara geçti. Detaylı bilgiye Dr. Kailash Sahu ve arkadaşlarının *The Astropyhsical Journal*'da yayımladıkları makaleden ulaşabilirsiniz. ■

https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/adbe6e

Rasi Bhadramani / iStock

Bağırsak Mikrobiyomu Vücudumuzun Kanserle Savaşmasına Yardımcı Olabilir!

Özlem Ak

Bağırsakta yaşayan mikroorganizmaların yani bağırsak mikrobiyomunun sindirimde büyük bir rol oynadığını uzun zamandır biliyoruz. Mevcut araştırmalar, bu mikroorganizmaların sağlığımızla ne kadar derinden bağlantılı olduğunu ortaya koymaya devam ediyor. New York'taki Weill Cornell Tıp Merkezindeki araştırmacıların *Cell* dergisinde yayımlanan yeni çalışmalarında, bağırsak mikrobiyomunun safra asitlerini vücudun kanserle savaşmasına yardımcı olan bağışıklık sistemini güçlendirici kimyasal bileşiklere dönüştürdüğü öne sürülüyor.

Karaciğerde üretilen, safra kesesinde depolanan ve yemekten sonra ince bağırsağa salınan safra asitlerinin görevleri arasında çoğunlukla yağları parçalamak ve A, D, E ve K gibi yağda çözünen vitaminlerin emilmesine yardımcı olmak yer alır. Ancak yapılan yeni araştırmayla zararlı bakterileri parçalama ve mikroorganizmalara olan etkileri sayesinde bağırsak mikrobiyomunun şekillenmesinde de rol oynadıkları tespit edildi. İki taraflı olan bu ilişkide safra asitleri bağırsaklara ulaştığında mikroorganizmalar, onları sağlık üzerinde bir dizi farklı etkileri olan yeni metabolitlere (vücutta gerçekleşen metabolik süreçler sonucu oluşan ara ve son ürünler) dönüştürüyor. Bilim insanları bu dönüşüm hakkında bilgi sahibi olsalar da kesin moleküler

mekanizması ve etkileri şimdiye kadar bir gizem olarak kalmıştı.

Araştırma ekibi, bağırsak mikroorganizmalarının safra asitlerinin kimyasal yapısını değiştirmesi sonucu ortaya çıkan belirli molekülleri tanımlayarak işe başladı. Birçoğu yapısal olarak testosteron ve östrojen gibi hormonlara benzeyen 50'den fazla yeni ikincil safra asidi türü (karaciğerin ürettiği safra asidinin bağırsaktaki bakteriler tarafından kimyasal olarak dönüştürülmesi sonucu oluşan türler) buldular. Bu yeni moleküllerin hormon reseptörleriyle de etkileşime girip girmediğini merak eden araştırmacılar, yeni keşfedilen metabolitlerden birinin, kanser ve bağışıklık hücreleri de dâhil olmak üzere çeşitli hücre tiplerinde bulunan ve protein yapısına sahip olan androjen reseptörünü bloke edebildiğini gördü. Bu reseptörün bloke edilmesinin, bağışıklık sisteminin enfeksiyonlar ve tümörlere karşı ön saflardaki savaşçıları olan T hücrelerinin etkinliğini artırdığı, geçmişte yapılan başka çalışmalarda gösterilmişti. Böylece ekip, bu safra asidi metabolitlerinin tümör büyümesini gerçekten yavaşlatıp yavaşlatamayacağını test etmeye karar verdi. İkincil safra asitlerinden birini kullanarak mesane kanseri olan fareleri tedavi ettiklerinde, bu modifiye safra asidinin T hücresi aktivitesini artırdığı ve bunun da tümörlerin büyümesini baskıladığı görüldü.

Bu bulgular, hastanın mikrobiyomunu yararlı bakterilerle yeniden şekillendirerek veya bağışıklık tepkisini artıran safra asidi metabolitlerini doğrudan hastaya vererek kanser tedavilerinin etkinliğini artırmak için yeni bir yaklaşım ortaya koyuyor.

Araştırmacılar, bu tür bir tedavinin gerçeğe dönüşmeden önce daha fazla çalışmaya ihtiyaç olduğunu düşünüyor. Bu nedenle bağırsak bakterileri tarafından türetilen modifiye safra asitlerinin vücudu bir bütün olarak nasıl etkilediğini daha iyi anlamayı ve bağırsak bakterilerinin biyolojimiz üzerindeki moleküler düzeydeki etkilerini detaylı şekilde keşfetmeyi umuyorlar. ■

https://doi.org/10.1016/j.cell.2025.02.029

Yapay Zekâ Görme Engelli İnsanlara Yardımcı Oluyor

Özlem Ak

Yapay zekâ destekli giyilebilir elektronik sistemler, tamamen ve kısmen görme engelli kişiler için var olan tedavilere ve vücutlarına yerleştirilen protezlere bir alternatif sunuyor. Ancak mevcut sistemlerin kullanım zorluğu bu cihazların yaygın olarak benimsenmesini engelliyor. *Nature Machine Intelligence*'da, 14 Nisan'da yayımlanan yeni bir çalışmada araştırmacılar, görme engelli kişilerin yönlerini bulmalarına yardımcı olmak için kamera, kulaklık ve yapay zekâ algoritmaları kullanan bir sistem geliştirildiklerini bildirdi. Sistemi test etmek için çalışmaya görme engelli 20 kişi katıldı. 25 metre uzunluğundaki bir iç mekân labirentini tamamlamaları istenen katılımcıların yürüme mesafesi ve gezinme süresi, baston kullandıkları duruma kıyasla %25 oranında kısaldı.
Bu sistem, gözlük üzerine monte edilmiş kameradan gelen görüntüleri yorumlamak için yapay zekâyı kullanıyor ve kullanıcıya sesli uyarılar ve titreşim yoluyla gerçek zamanlı olarak konum bilgisi sağlıyor. Önündeki ortamla ilgili sinyaller, kemikten ses iletimi sağlayan kulaklıklar aracılığıyla kullanıcıya gönderiliyor. Sistem, kullanıcının çevresinin canlı görüntülerini kaydeden kamerayla donatılmış bir gözlük içeriyor. Küçük bir bilgisayar; kapı, duvar ve mobilya gibi nesneleri ve ortamda bulunan diğer insanları algılamak üzere eğitilmiş makine öğrenimi algoritmaları kullanarak bu görüntüleri işliyor. Cihaz, kullanıcıya çevresi hakkında her 250 milisaniyede bir sesli ipuçları veriyor ve kullanıcıyı doğru tarafa yönlendirmek için sağ veya sol kulaklıkta bir bip sesi üretiyor. Araştırmacılar ayrıca kullanıcıların yön bulmasını daha da kolaylaştırmak için bileklerine

Araştırmada geliştirilen kameralar gözlüklere monte edildi.

ve parmaklarına taktıkları esnek "yapay deri" yamaları da geliştirdi. Kendi kamera sistemleriyle donatılmış bileklikler ve yamalar, 5-40 cm uzaklıkta bir engel olduğunda kullanıcıyı titreşim yoluyla uyarıyor. Diğer yandan kullanıcı bir nesneye nesneyi kavrama zamanını titreşerek bildiriyor. Araştırma ekibinden Şanghay Jiao Tong Üniversitesinde yapay zekâ araştırmacısı olan Leilei Gu, bu sistemin gelecekte gözlerin işlevini kısmen yerine getirebileceğinden umutlu. Şimdilik sistemin bir prototip olduğunu ve pratik düzeyde daha kullanışlı hâle getirmek için, sistemin kullanıcılar açısından güvenli olduğundan emin olmak istediklerini belirtiyor. ■

https://www.nature.com/articles/d41586-025-01214-9

Mantarlar, Metan Gazını Azaltmak için Kullanılabilir mi?

Özlem Ak

İnek, sığır gibi geviş getiren büyük baş hayvanların geğirmeleri sonucu atmosfere salınan metanın küresel ısınmaya önemli oranda katkıda bulunduğu biliniyor. Dört odacıklı mideye sahip bu hayvanların, midelerindeki en büyük bölüm olan işkembelerinde gerçekleşen enterik fermentasyon adlı sürecin yan ürünü, bir sera gazı olan metandır. Enterik fermantasyon, besinlerle alınan karbonhidratların kan dolaşımına geçmek üzere daha basit moleküllere parçalandığı sindirim sürecidir. Bununla birlikte metanın küçük bir yüzdesi de ineğin kalın bağırsağında üretilir ve salınır. Ayrıca inek gübresinin işlenmesi için kullanılan çökeltme havuzlarında ve lagünlerde bu sera gazı önemli miktarda üretilir. Bilim insanları, gübre ve geğirmenin çiftçilikle ilgili metan emisyonlarının yaklaşık %32'sini oluşturduğunu ve metanın Sanayi Devrimi öncesi dönemden bu yana küresel ısınmanın yaklaşık %30'undan sorumlu olduğunu söylüyor.

Avustralya'da bulunan Roam Agricultural isimli firmadan Matthew Callaghan, toprakta bulunan bir mantar türünü biyoreaktörlerde büyük miktarlarda yetiştirmeyi amaçladıklarını ve bu bir çeşit "mantar çorbası"nın geğirme sonucu açığa çıkan metan miktarını azaltmak için ineklere yedirilebileceğini belirtiyor. Ancak mantarları ineklere doğrudan yedirmek yerine mantarların ürettikleri bromoform adlı verilen ve sinir sisteminde metan gazının oluşumunu azaltan bileşiği özütlemeyi ve yenilebilir bir toz olarak yemlere eklemeyi planlıyorlar. Araştırmalar, yemlere bromoform eklenmesinin, hayvanların midesindeki bakterilerin işlevlerini bozarak

ineklerden ve diğer geviş getiren hayvanlardan kaynaklanan metan emisyonlarını etkili bir şekilde azaltabileceğini gösteriyor. Diğer şirketler hâlihazırda bu bileşiği sentetik olarak veya bromoform üreten deniz yosunlarından elde ediyor. Ancak Callaghan, kendi firmasının mantar yaklaşımının daha verimli olabileceğini söylüyor. Toprak mantarı, topraktan toplanan mantarlardan oluşan geniş bir kütüphane oluşturan Avustralya merkezli girişim Loam Bio'daki araştırmacılar tarafından tespit edildi. Uzmanlar bu veri tabanında, deniz yosununda bromoform üretiminde rol oynayanlarla aynı genlere sahip mantarları taradı. Daha sonra seçilen mantarları, ürettikleri bromoform miktarını belirlemek için test ettiler. Araştırmacılar, en üretken mantar türünün Yeni Güney Galler'den toplanan *Curvularia inaequalis* olduğunu bildirdi.

Callaghan, ham sıvı mantar özütünün sabah ve öğleden sonra doğrudan ineklere verildiğinde metan seviyelerinin 24 saatlik süre içinde yaklaşık %60 oranında düştüğünü, bromoformun mantarlardan özütlenerek ineklere tek bir günlük porsiyonda kuru toz olarak verildiğinde ise metanın aynı sürede yaklaşık %30 oranında azaldığını söylüyor.

Ham sıvı mantar özütünün etkisi daha büyük olsa da Callaghan, canlı mantar içeren sıvının yeme eklenmesinin pratik olmadığını belirtiyor. Yine de mantarları kullanarak bromoform üretmenin, büyük miktarlarda deniz yosunu yetiştirmekten veya fabrikalarda sentetik olarak üretmekten daha ucuz olabileceğini düşünüyor. ■

https://www.newscientist.com/article/2470112-fungus-offers-a-new-way-to-cut-down-on-methane-in-cow-burps/

fokkebok / iStock

Nadir Görülen Kemik Hastalığı için Umut Veren Çalışma

Hayriye Yetiş Avcı

İskelet sistemi vücuda şekil verir, destek sağlar, organları korur ve vücudun hareket etmesini sağlayan kaslara tutunma yüzeyi oluşturur. Aynı zamanda bu sistem, kan hücresi üretme ve mineral depolama gibi birçok yaşamsal süreçte kritik role sahiptir.

Nadir görülen bir iskelet sistemi hastalığı olan Spondiloepimetafizyal displazi (SEMD) kemik gelişiminde ciddi bozukluklara neden olan genetik bir hastalıktır. Bu sorun, vücutta özellikle omurganın, uzun kemiklerin uçlarının ve bağ dokularının gelişimini etkiler. Boy kısalığına ve eklemlerde ortopedik rahatsızlıklara sebep olan bu hastalığın *RSPRY1* geniyle ilişkili olduğu biliniyordu. Ancak bu gendeki mutasyonun iskelet sistemindeki hücresel süreçleri nasıl etkilediğine dair moleküler mekanizmalar tam olarak anlaşılamamıştı.

Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Genetik Ana Bilim Dalı Öğretim Görevlisi Gözde İmren ve arkadaşları, *International Journal of Molecular Sciences* dergisinde yayımlanan çalışmada SEMD'nin

Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi
Tıbbi Genetik Ana Bilim Dalı
Öğretim Görevlisi Gözde İmren

genetik mekanizmasına ışık tutuyor. Araştırmada kemik gelişiminde rol oynayan ancak biyolojik işlevi henüz tam olarak anlaşılmamış *RSPRY1* genindeki mutasyonun TGF-β sinyal yolunu nasıl etkilediği inceleniyor.

TGF-β sinyal yolu, çeşitli biyolojik sistemlerde hücre büyümesi, farklılaşması ve gelişiminin düzenlenmesinde kritik bir rol oynar. Bir gen düzenleme teknolojisi olan CRISPR-Cas9 teknolojisiyle yürütülen çalışmada SEMD ile mücadele eden kişilerin hücrelerinden alınan örnekler analiz edildi. Sonuçlar *RSPRY1* genindeki mutasyonun TGF-β sinyal yolunun çok fazla çalışmasına neden olduğunu gösterdi. TGF-β sinyal yolu, normalde kemik ve kıkırdak oluşumunu düzenlerken çok fazla aktif hâle geldiğinde dokuları oluşturan hücrelerin yapısal düzenini bozabiliyor ve SEMD'ye neden olabiliyor.

Araştırma, *RSPRY1* genindeki mutasyonunun TGF-β sinyal yolunun çok fazla çalışmasıyla ilişkili olduğunu gösteren ve bu ilişkiye dair doğrudan kanıt sağlayan ilk çalışma olması açısından hayli önemli. Araştırma sonuçları SEMD'ye dair moleküler süreçleri daha detaylı anlaşılmasının yanında SEMD de dâhil olmak üzere farklı tür kemik hastalıklarına yönelik yeni tedavi yöntemleri geliştirilmesi açısından büyük önem taşıyor. Aynı zamanda genetik temelli bu tür keşifler, kişiselleştirilmiş tedavilerin geliştirilmesine önemli ölçüde katkı sağlayabilir. ■

https://doi.org/10.3390/ijms26031134
https://gazete.hacettepe.edu.tr/tr/haber/nadir_bir_hastaligin_genetik_temellerine_isik_tutan_calisma-722

Mars'ta Karbon Rezervi Keşfedildi

Mahir E. Ocak

Curiosity aracı Mars topraklarında büyük bir karbon rezervi keşfetti. Uzak geçmişte Mars'ta karbon döngüsünün varlığına işaret eden keşif, Mars'ın bir zamanlar yaşama elverişli koşullara sahip olduğu hipotezini destekliyor.

NASA'ya ait Curiosity keşif aracı 2012'den beri Mars topraklarında dolaşıyor. Bugüne kadar 34 kilometreden fazla yol alan araç, Gale Krateri olarak adlandırılan bir bölgenin içinde bulunuyor.

Curiosity'nin üzerinde dolaştığı sülfat bakımından zengin topraklardan topladığı sondaj örnekleri ile ilgili verileri analiz eden araştırmacılar, Gale kraterinde siderit ($FeCO_3$) rezervi keşfetti.

Mars'ın jeomorfolojisi hakkında bilinenler uzak geçmişte Kızıl Gezegen'in yüzeyinde sıvı su bulunduğuna işaret ediyor. Bu durum gezegenin geçmişte bugün olduğundan daha sıcak olmasını gerektiriyor. İklim modelleri kullanılarak yapılan hesaplara göre yüzeyinde sıvı su barındırabilmesi için Mars'ın atmosferinde geçmişte

gremlin / iStock

bugün olduğundan çok daha fazla karbondioksit vardı. Bu koşullar altında suyun kayaçlardaki elementlerle ve atmosferdeki karbondioksitle tepkimelere girmesiyle karbonatlı bileşikler oluşuyordu.

Curiosity aracının sondaj örneklerinde daha önceleri uydularla yapılan gözlemlerle tespit edilemeyen karbonlu bileşikler keşfetmesi, Mars'ın geçmişte karbon bakımından daha zengin bir atmosfere ve daha ılıman koşullara sahip olduğu hipotezini destekliyor. Eğer Kızıl Gezegen'in başka bölgelerinde de benzer bollukta karbonatlı bileşikler varsa elde edilen sonuçlar, Mars'ta atmosferden karbondioksit çekilmesiyle oluşmuş, çok büyük miktarda karbonlu mineral rezervleri bulunduğunu gösteriyor.

Araştırmacıların elde ettiği bulgular eski bir karbon döngüsünün varlığına da işaret ediyor. Tespit edilen karbonlu mineraller kısmen bileşenlerine ayrışmış durumda ve atmosfere karbondioksit salıyor.

Detaylı bilgiye Calgary Üniversitesinden Dr. Benjamin Tutolo ve arkadaşlarının *Science*'ta yayımladıkları makaleden ulaşabilirsiniz. ■

https://www.science.org/doi/10.1126/science.ado9966

Karlsruhe Teknoloji Enstitüsündeki spektrometre

dpa picture alliance / Alamy

Nötrinoların Kütlesindeki Belirsizlik Azaldı

Mahir E. Ocak

Parçacık fiziğinin standart modeli nötrinoların kütlesiz olduğunu varsayar. Ancak nötrino salınımlarını (farklı nötrino türlerinin birbirine dönüşümünü) doğrulayan deneysel çalışmalar, nötrinoların da kütleli olduğunu gösterdi.

Nötrinoların kütlesini hassas bir biçimde ölçmek bugüne kadar mümkün olmadı. Ancak deneysel çalışmalar nötrinoların sahip olabileceği kütle aralığını sınırlandırıyor.

KATRIN (Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment) İş Birliği adı altında çalışmalar yapan bir grup fizikçi, nötrino kütlesi üzerine bugüne kadar yapılmış en ileri deneysel çalışmaların sonuçlarını 10 Nisan 2025'te yayımladı. Araştırmacıların moleküler trityumun beta ışıması üzerine yapıkları deneylerin sonuçlarına göre nötrinoların kütlesi 0,45 eV'den küçük olmalı. Elektronların kütlesinin 0,5 MeV civarında olduğu düşünüldüğünde bu sonuçlar, nötrinoların kütlesinin elektronlarınkinin milyonda birinden bile küçük olduğu anlamına geliyor.

Nötrinoların kütlesi üzerine yapılan deneysel çalışmalar parçacık fiziğinin standart modelinin iyileştirilmesi açısından önem taşıyor. Standart modeldeki diğer kütleli parçacıklar Higgs mekanizmasıyla kütle kazanıyor. Aynı durumun nötrinolar için de geçerli olup olmadığı bilinmiyor. Nötrinoların kütlesinin hassas bir biçimde belirlenmesi kozmoloji açısından da önemli. Büyük Patlama'dan arta kalan nötrinoların, gök adaların oluşumunda ne ölçüde rol oynadığının daha iyi

anlaşılabilmesi için nötrinoların kütlesinin hassas bir biçimde ölçülmesine ihtiyaç var. Detaylı bilgiye KATRIN İş Birliği'nin *Science*'ta yayımladıkları makaleden ulaşabilirsiniz. ■

https://www.science.org/doi/10.1126/science.adq9592

Yeni Keşfedilen "Kemik Koleksiyoncusu" Tırtıl

Özlem Ak

Bir karınca kafası, bir sinek kanadı, bir böceğin karnı... Yutulan böceklerden kopan bu vücut parçaları, yeni keşfedilen bir tırtılın koruyucu vücut örtüsünü oluşturuyor. Yeni tanımlanan "kemik koleksiyoncusu" tırtıl türü, örümceklerin arasında yaşayabilmek ve onların avlarıyla beslenebilmek için ölü böceklerin vücut parçalarıyla kendini gizliyor. Araştırmacılar, nisan ayında *Science* dergisinde yayımladıkları makalelerinde yeni keşfettikleri tırtıl türünün ağa takılmış böcekleri bulmak için örümcek ağlarını takip ederken kamuflaj olarak av kalıntılarını kullandığını bildirdi.

Mānoa'daki Hawaii Üniversitesinden entomolog (böcek bilimci) Daniel Rubinoff ve meslektaşları yirmi yıldan uzun bir süre önce Oahu Adası'ndaki Waianae Dağları'nda "Hawaii süslü tırtılları" olarak da bilinen *Hyposmocoma* cinsindeki türleri ararken aynı cinsten olan bu tırtılı keşfetti. Rubinoff, böcek parçalarıyla kaplı bu minicik keseyi gördüklerinde ne olduğundan emin olmadıklarını, laboratuvara götürdüklerinde içinde küçük bir tırtıl olduğunu fark ettiklerini belirtiyor. Başlangıçta bunu ilginç bir tesadüf olarak değerlendiren Rubinoff, daha fazla sayıda garip larvayla karşılaşmaya devam etti ve 20 yıl boyunca sadece 15 kilometrekarelik bir alanda toplamda 62 "kemik koleksiyoncusu" tırtıl tespit etti.

Yeni tanımlanan ve henüz bilimsel bir isim almamış olan *Hyposmocoma* cinsi bu tırtıl, ağaç gövdelerinin içindeki örümcek ağlarında ve kayaların arasında yaşıyor. Yaklaşık bir tırnak uzunluğunda olan tırtıl, örümcek ağlarına takılan böceklerle besleniyor. Rubinoff, dünyadaki tüm tırtılların yalnızca %0,13'ünün etobur olduğunu ve bu türdeki tırtılların yalnızca bir ağaç, kütük veya kaya oyuğuna kurulmuş örümcek ağlarında yaşadığını söylüyor. Ayrıca birbirlerini yeme ihtimalleri nedeniyle genellikle bir ağda sadece bir tırtıl yaşıyor. Tırtıl, örümcek ağında pusuya yatıp ağa takılan böcekleri avlamak için beklerken örümceğin yemek artıkları ve döktüğü deri kalıntıları ile kendisini kamufle ediyor. Rubinof'e göre bir örümcekle birlikte yaşamanın muhtemelen tek yolu da bu. Genetik analizler, bu tırtılın soyunun Oahu Adası'nın oluşumundan yaklaşık 5 milyon yıl daha eskiye dayandığını gösteriyor. Rubinoff, tırtılı nesli tükenmeden önce keşfettikleri için çok mutlu. Ancak türlerin koruması konusunda daha fazla çaba gerektiğine inanıyor ve bu konuda endişe duyuyor. ■

https://www.sciencenews.org/article/caterpillar-wears-body-part-insect-prey

Rubinoff Laboratuvarı

Yeni bir etobur tırtıl türü böcek parçalarıyla kendini kamufle ediyor.

Plastik Çağının Gözle Görülmeyen Tehdidi

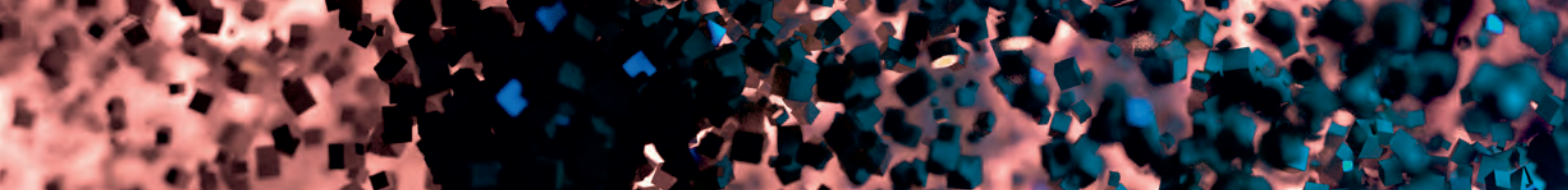
MİKROPLASTİKLER

Sınır Tanımıyor

Dr. Özlem Ak [*TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

123dartist / iStock

Dünyada yılda yaklaşık 450 milyon ton plastik üretiliyor. Ancak bu devasa miktarın sadece %9'u geri dönüştürülüyor, geri kalanı ise çevreye karışıyor ya da çöplüklere atılıyor. Uzmanlara göre üretim hızı böyle devam ederse 2060 yılına kadar yıllık plastik üretimi 1,2 milyar tona ulaşabilir. Üstelik plastik üretimi tamamen durdurulsa bile doğada biriken milyonlarca ton plastik zamanla parçalanarak mikroplastiklere dönüşmeye devam edecek. Bu da demek oluyor ki, doğadaki plastik tehdidi kendiliğinden ortadan kalkmıyor, aksine daha görünmez ama daha yaygın bir sorun hâlini alıyor. Tahminlere göre, her yıl 10 ila 40 milyon ton mikroplastik doğaya karışıyor. Bu parçacıklar yalnızca çevreye değil; deniz yaşamına, besin zincirine ve insan sağlığına da doğrudan zarar veriyor.



1907 yılında icat edilmesinden bu yana plastik, hayatımızın vazgeçilmez bir parçası hâline geldi. Gıda ambalajlarından tıbbi ekipmanlara kadar pek çok alanda sağladığı kolaylıklarla, modern toplumun temel malzemelerinden biri oldu. Bugün en yaygın kullanılan plastik türleri arasında polipropilen (PP), polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET), polistiren (PS) ve polivinil klorür (PVC) yer alıyor. Ancak bu dayanıklı malzeme zamanla ezilerek, koparak ya da bozulup parçalanarak minik parçacıklara ayrılıyor. Bu plastik parçacıklarının boyutu birkaç mikrondan birkaç milimetreye kadar değişebiliyor. İşte bu küçük parçacıklara mikroplastik adı veriliyor. Mikroplastikler, çapı 5 mm'den küçük plastik parçaları olarak tanımlanıyor. Daha da küçükleri, yani çapı 1 mikrometreden (µm) az olanlar ise nanoplastik olarak adlandırılıyor.

Her yıl 10 ila 40 milyon ton mikroplastiğin doğaya karıştığı tahmin ediliyor. Üstelik artış bu hızla sürerse miktarın 2040 yılına kadar iki katına çıkabileceği öngörülüyor. Mikroplastiklerin çoğu, doğada zamanla parçalanan büyük plastiklerden kaynaklanıyor. Ancak bir kısmı da boya, kozmetik, temizlik ürünleri ve diş macunları gibi günlük hayatta kullanılan ürünlere doğrudan bilinçli bir şekilde ekleniyor.

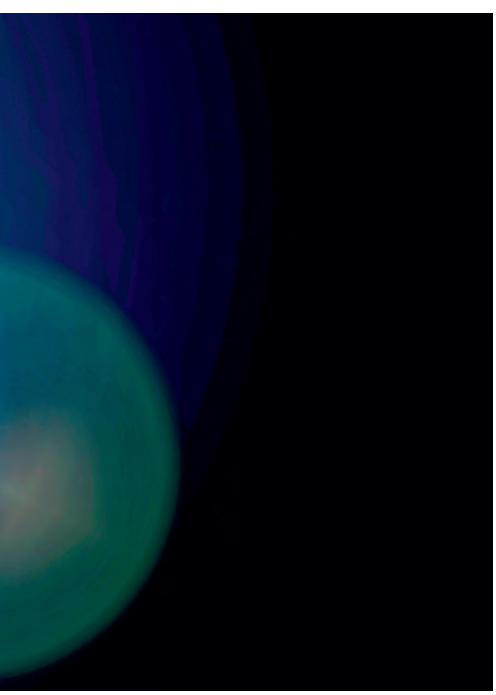
Asıl endişe verici olan ise mikroplastiklerin sadece doğada değil, artık insan vücudunda da bulunuyor olması. Yapılan araştırmalar, bu parçacıkların damarlarda, beyinde, karaciğerde, böbreklerde ve hatta plasentada bile tespit edildiğini gösteriyor. Üstelik mikroplastikler yalnızca şehirlerde değil: Antarktika'dan Arktik'e, Everest'in zirvesinden Mariana Çukuru'na kadar dünyanın ulaşılması zor en ücra köşelerinde bile bulunuyor. İçtiğimiz suya, yediğimiz yiyeceklere, giydiğimiz kıyafetlere ve soluduğumuz havaya karışmış durumdalar.

Mikroplastiklerin Yolculuğu: Kısa Bir Tarihçe

Plastik çağının temelleri, 1907 yılında Belçikalı kimyager Leo Baekeland'in fenol ve formaldehit kullanarak ilk sentetik plastiği icat etmesiyle atıldı. Bu yeni maddeye kendi soyadından esinlenerek "Bakalit" adını verdi. Kısa sürede üreticiler, bu malzemenin hem ucuz hem de çok yönlü kullanım alanına sahip olduğunu fark etti. Çünkü plastik; dayanıklı, esnek, hafif, korozyona karşı dayanıklı ve elektriği iletmeyen bir malzemeydi. Bu özellikleri sayesinde iletişim cihazlarından ulaşım araçlarına kadar pek çok alanda kullanılmaya başlandı.1930'lar ve 1940'larda bilim insanları polistiren, poliester, naylon, teflon gibi

enzodebernardo / iStock

plastiğin yeni türlerini geliştirdi. 1950'lere gelindiğinde plastik âdeta hayatımızın vazgeçilmezi oldu. Tek kullanımlık ürünlerin yaygınlaşması özellikle evlerde büyük kolaylıklar sağlamaya başladı. Plastik artık yalnızca mutfakta değil, modern tıptan inşaata, tekstilden gıda ambalajlarına kadar hayatın her alanında yerini aldı. Ancak 1960'ların sonlarında plastiklerin olumsuz etkileri de fark edilmeye başlandı. Uzmanlar, denizlerde giderek biriken plastik kirliliğine dikkat çekti. 1970'lerde yapılan çalışmalarda, deniz planktonlarını incelemek için alınan örneklerde minik plastik parçacıkların bulunduğu gözlemlendi. Bu parçacıklar daha sonra mikroplastik olarak adlandırıldı ve bu terim ilk kez 2004 yılında bilimsel literatüre girdi.



1907 Plastiğin Doğuşu
Belçikalı kimyager Leo Baekeland, petrol türevleri olan fenol ve formaldehiti tepkimeye sokarak ilk sentetik plastiği üretti. Bu yeni maddeye kendi adından esinlenerek "Bakalit" adını verdi. Bakalit; sert, kalıba dökülerek şekillendirebilir ve dayanıklı yapısıyla üretim dünyasında devrim yarattı.

1930'lar Plastik Yayılıyor
Daha esnek, daha ucuz plastik türlerinin bulunmasıyla birlikte plastik, hayatın her alanında hızla kullanılmaya başlandı.

1940 İz Bırakan İlk Mikroplastikler
ABD'deki bir göl yatağında, bugün "mikroplastik" olarak tanımlanan parçacıklara rastlandı. Ancak bunların plastik kalıntıları olduğu yıllar sonra fark edildi.

1950 Plastik Patlaması
Dünya genelinde plastik üretimi yıllık 2 milyon tona ulaştı. Mikroplastik kavramı henüz bilimsel literatüre girmemişti.

2004 Mikroplastik Tanımı Ortaya Çıkıyor
İngiltere'de deniz biyoloğu Richard Thompson ve ekibi, "mikroplastik" terimini ilk kez kullandı. Bu, mikroplastiklerle ilgili bilimsel araştırmaların başlangıç noktası oldu.

2009 Antarktika'da Mikroplastik İzleri
Antarktika'da buzulların derinlerinden alınan örneklerde mikroplastiklere rastlandı. Ancak bu kalıntıların mikroplastik olduğu 2020'de yapılan araştırmalarla ortaya çıkarıldı.

2011 Tatlı Sularda İlk Bulgular
Kuzey Amerika kıtasında bulunan Huron Gölü'nden alınan örneklerde, metrekarede ortalama 37,8 mikroplastik parçası tespit edildi. Ayrıca okyanuslara karışan mikroplastiklerin %16–35'inin sentetik tekstil ürünlerinin yıkanması sonucu ortaya çıktığı belirlendi.

2014 Havadaki Mikroplastikler
ABD'de yapılan bir çalışmada otomobil lastiklerinin aşınmasıyla ortaya çıkan tonlarca mikroplastiğin havaya karıştığı tespit edildi.

2016 Derin Deniz Canlılarında Mikroplastik
Oxford Üniversitesinden bilim insanları, 1.800 metre derinlikteki deniz canlılarının bile mikroplastikleri vücutlarına aldığını keşfetti.

2018 Dünyanın En Derin Noktasında Mikroplastik
Dünyanın en derin noktası olan Mariana Çukuru'nda büyük miktarda mikroplastik bulundu.

2019 Mikroplastikler Gökyüzünde
Avrupa'da bulunan Pirene Dağları'nda yağmur ve kar sularında yüksek miktarda mikroplastik tespit edildi. Bu, parçacıkların rüzgârla çok uzaklara taşınabileceğinin ilk güçlü kanıtıydı.

2020 Everest'in Zirvesinde Mikroplastik
Dünyanın en yüksek noktası olan Everest Dağı'nın zirvesine yakın alanlarda mikroplastik parçacıkları bulundu.

2023
• Japonya'daki Fuji Dağı'nın çevresindeki bulutlarda mikroplastik tespit edildi.
• İngiltere'de yapılan bir çalışma, geri dönüşüm tesislerinin çevreye mikroplastik salınmasında önemli bir rol oynayabileceğini gösterdi. Bu çalışma *Journal of Hazardous Materials Advances*'da yayımlandı.

2024 Plastik Üretiminde Rekor
Dünya genelinde yıllık plastik üretimi 450 milyon tona ulaştı.

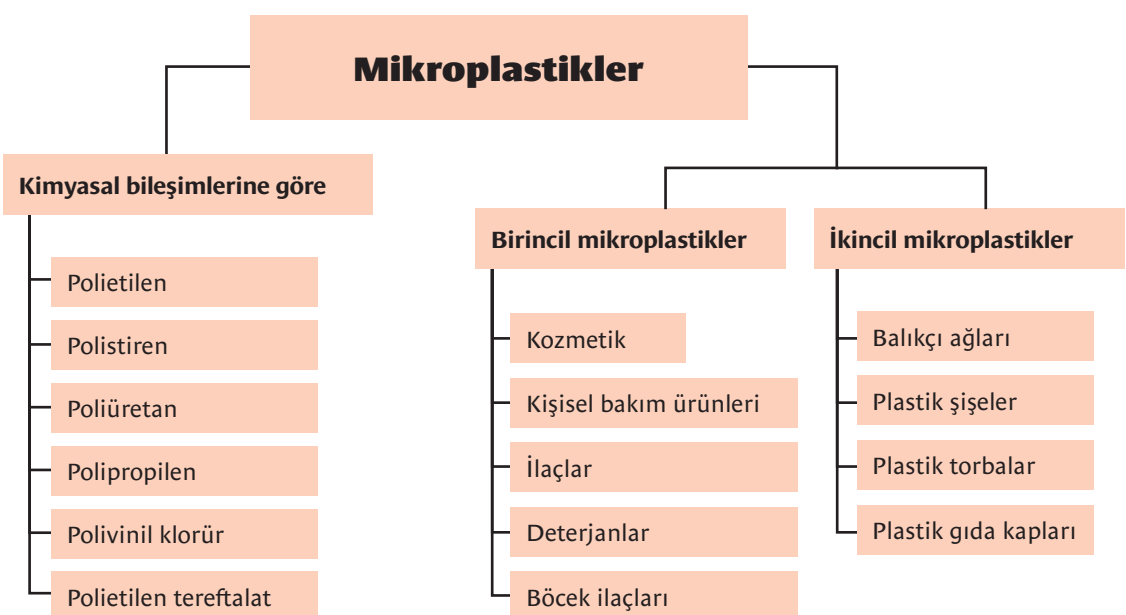
Nereden Geliyor Bu Mikroplastikler?

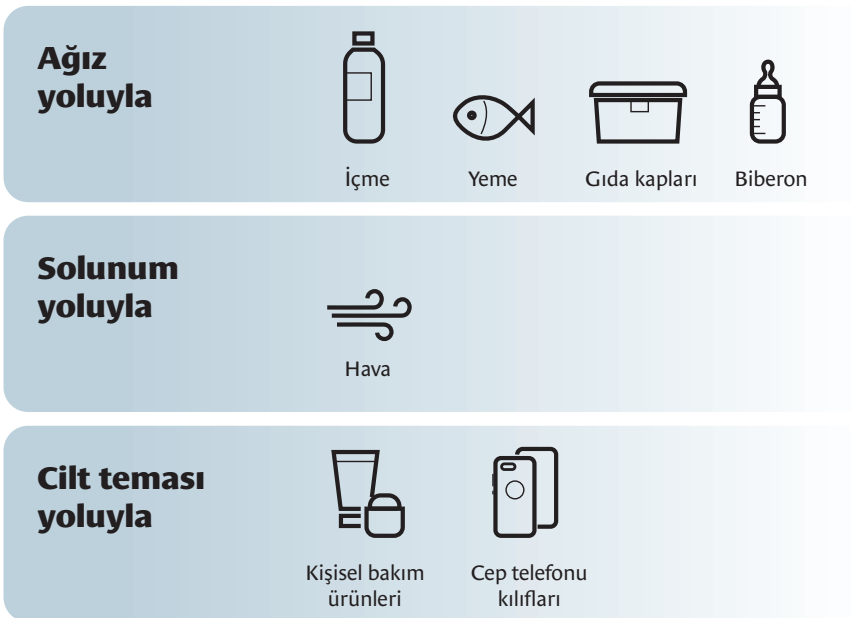
Mikroplastikler, genellikle daha büyük plastiklerin zamanla fiziksel, kimyasal ya da biyolojik etkilerle parçalanması sonucu ortaya çıkar ve bu tür mikroplastikler "ikincil mikroplastik" olarak adlandırılır. Öte yandan kozmetik ürünler, deterjanlar, boyalar, ilaçlar, bebek bezleri ve böcek ilaçları gibi günlük hayatta sıkça kullandığımız bazı ürünlere ise mikroplastikler doğrudan eklenir,

Mutfaklardaki Tehlike

Bilim insanlarının; bulaşık süngerleri, karıştırıcılar ve diğer plastik mutfak eşyalarının gıdalara mikroplastik karışmasına neden olduğunun keşfetmesiyle mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerine dair endişeler de artıyor. Araştırmalar, eski ve kullanılmış plastik eşyaların daha fazla mikroplastik saldığını, özellikle ısıtma ve sürtünme işlemlerinin bu süreci hızlandırdığını ortaya koyuyor. Örneğin plastik kesme tahtaları veya karıştırıcılar kullanıldığında binlerce mikroplastik parçacığı gıdalara karışabiliyor. Bu nedenle araştırmacılar, mutfakta mikroplastiklere maruziyeti azaltmak için plastik yerine ahşap kesme tahtaları kullanmak, plastik su ısıtıcıların paslanmaz çelik olanlarla değiştirmek ve cam saklama kapları kullanmak gibi pratik önerilerde bulunuyor.

Evgeniya Moskova / iStock





bunlara da "birincil mikroplastik" denir. Mikroplastikler biçimsel olarak parçacık, lif, köpük, pelet ve film gibi farklı görünümlere sahip olabilirken kimyasal yapılarına göre polietilen, polistiren, polipropilen, poliüretan, polivinil klorür ve polietilen tereftalat gibi altı ana gruba ayrılır.

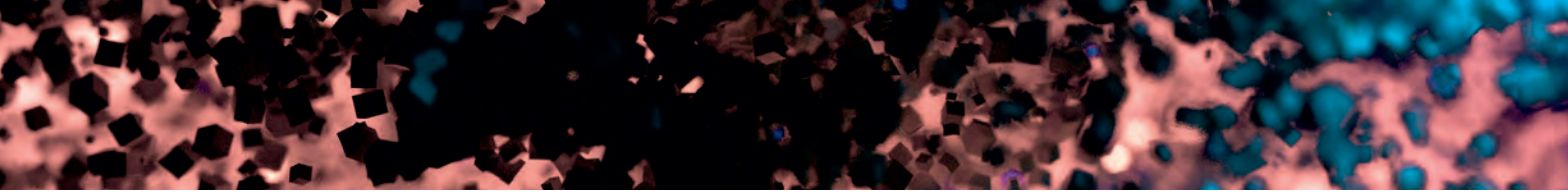
Her Yudumda, Her Nefeste Vücudumuzdaki Mikroplastikler

Mikroplastikler, çevremizdeki her yerde bulunmaları ve taşıdıkları toksik maddeler nedeniyle insan sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturuyor. Vücudumuza genellikle üç yolla giriyorlar: Solunum, ağız yolu ve cilt teması.

Ne yazık ki mikroplastikler içtiğimiz sudan yediğimiz deniz ürünlerine, tuzdan şekere, çay poşetlerinden süte kadar günlük hayatta tükettiğimiz pek çok ürünün içinde yer alıyor. Örneğin Avrupa'da kabuklu deniz ürünleri tüketen bir kişi yılda ortalama 11.000 mikroplastik parçacığına maruz kalıyor. Diğer gıda yolları da dâhil edildiğinde bu sayı kişi başına yılda 39.000 ile 52.000 arasında değişiyor. Paket servislerde kullanılan plastik kaplar aracılığıyla da mikroplastikler gıdalara karışabiliyor. Haftada birkaç kez dışarıdan yemek siparişi veren bir kişi, bu kaplar aracılığıyla yılda 12 ila 203 mikroplastik parçacığı yutabiliyor.

Bazı yaş grupları mikroplastiklere karşı daha savunmasız. Örneğin bebeklerin dışkılarında yetişkinlere göre 10 kat daha fazla mikroplastik bulunması, çok daha fazla mikroplastiğe maruz kaldıklarını gösteriyor. Sterilize edilen bebek emziklerinin ve plastik biberonların yüzeyinden de bu parçacıklar salınabiliyor. Bir bebeğin yalnızca beslenme sırasında kullanılan biberon yoluyla yılda yaklaşık 660.000 mikroplastik yuttuğu tahmin ediliyor.

Mikroplastikler sadece ağız yoluyla değil, solunum yoluyla da vücuda girebiliyor. Havadaki bu parçacıklar genellikle polietilen, polistiren ve polietilen tereftalat gibi plastiklerden oluşuyor. Şehirlerde, özellikle trafiğin yoğun olduğu yerlerde bu parçacıkların havadaki konsantrasyonu daha yüksek. Örneğin Paris'te yapılan ölçümlerde açık havada ortalama 5,4 parçacık/m^3, kapalı ortamlarda ise 0,9 parçacık/m^3 mikroplastik bulundu. Şanghay'da ise havadaki mikroplastik yoğunluğu 1,42 parçacık/m^3 olarak ölçüldü.



Tüm bu veriler ışığında bir kişinin yılda 74.000 ila 121.000 mikroplastik parçacığına maruz kaldığı tahmin ediliyor.

Genellikle mikroplastiklerin cilt yoluyla vücuda giremediği düşünülse de bazı durumlarda bu parçacıklar cilt yüzeyinde birikebiliyor. Özellikle mikroplastik içeren kozmetik ürünler, cep telefonu kılıfları gibi eşyalar ve katkı maddeleri (örneğin bisfenoller, ftalatlar, alev geciktiriciler) bu maruziyeti artırabiliyor. İngiltere'deki Birmingham Üniversitesinde yapılan bir araştırma, bu katkı maddelerinin cilt yoluyla emilebildiğini gösterdi. Hatta terle birlikte vücuda geçebildiği için nemli ciltlerde bu emilim oranı daha da artıyor.

En endişe verici bulgulardan biri de mikroplastiklerin fetüse kadar ulaşabildiği yönünde. ABD'deki Rutgers Üniversitesinde yapılan deneylerde mikroplastiklerin sıçanlarda plasentadan geçerek fetüse ulaştığı ve fetüsün tüm dokularına yayıldığı tespit edildi.

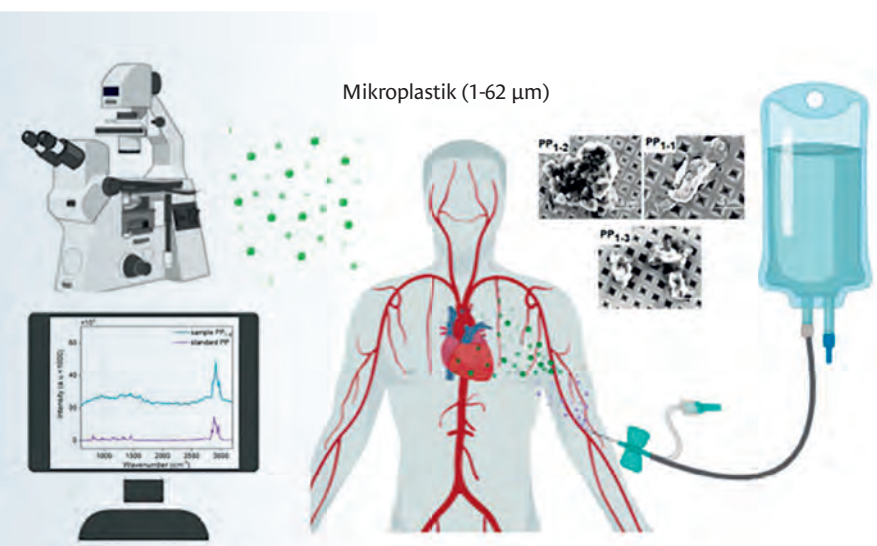
Mevcut verilere göre bilim insanları, mikroplastiklerin büyük oranda dışkı ve safra yoluyla vücuttan atıldığını düşünüyor. Ancak bazı araştırmalarda kan ve beyin dokularında da mikroplastiklere rastlandı. Bu da vücudumuza giren plastik parçacıkların düşündüğümüzden daha kalıcı ve yaygın etkiler yaratabileceğini gösteriyor.

Mikroplastikler Sağlığımızı Sessizce Tehdit Ediyor

Bilimsel araştırmalar, mikroplastiklerin yalnızca çevreye değil, canlı hücrelere de zarar verebildiğini gösteriyor. Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde bu küçük plastik parçacıkların hücrelerle temas ettiğinde pek çok olumsuz etkiye yol açabileceği gözlemlenmiş durumda. Mikroplastiklere maruz kalmak; metabolizma bozuklukları, bağışıklık sisteminde zayıflama, sinir sistemi hasarı, üreme sisteminde sorunlar ve gelişimsel bozukluklar gibi çeşitli sağlık risklerine neden olabiliyor. Ayrıca iltihaplanmayı (enflamasyon) ve oksidatif stresi (serbest radikal olarak adlandırılan tepkimeye gitme isteği yüksek kimyasal maddelerin vücutta birikmesi) artırarak hücrelerin düzgün çalışmasını engelleyebiliyor.

Bazı mikroplastiklerin, hormon sistemini etkileyen endokrin bozucu özellikteki katkı maddeleri içerdiği de biliniyor. Bu maddeler, vücudun hormonal dengesini bozarak uzun vadeli sağlık sorunlarına yol açabiliyor. Dahası bu parçacıklar vücutta birikerek zamanla daha kalıcı ve ciddi

Environment & Health dergisinde yayımlanan çalışmaya göre 1-62 µm boyutundaki plastik parçacıklar, hastalara damar yoluyla verilen serum sıvılarında tespit edildi. Araştırmacılar, tek bir 250 ml'lik serum torbasının yaklaşık 7.500 mikroplastik parçacığını doğrudan kan dolaşımına aktarabileceğini tahmin ediyor. Çalışmada iki farklı markaya ait serum torbaları analiz edildi ve her ikisinde de torbaların yapıldığı malzeme olan polipropilenden kaynaklanan mikroplastikler bulundu.



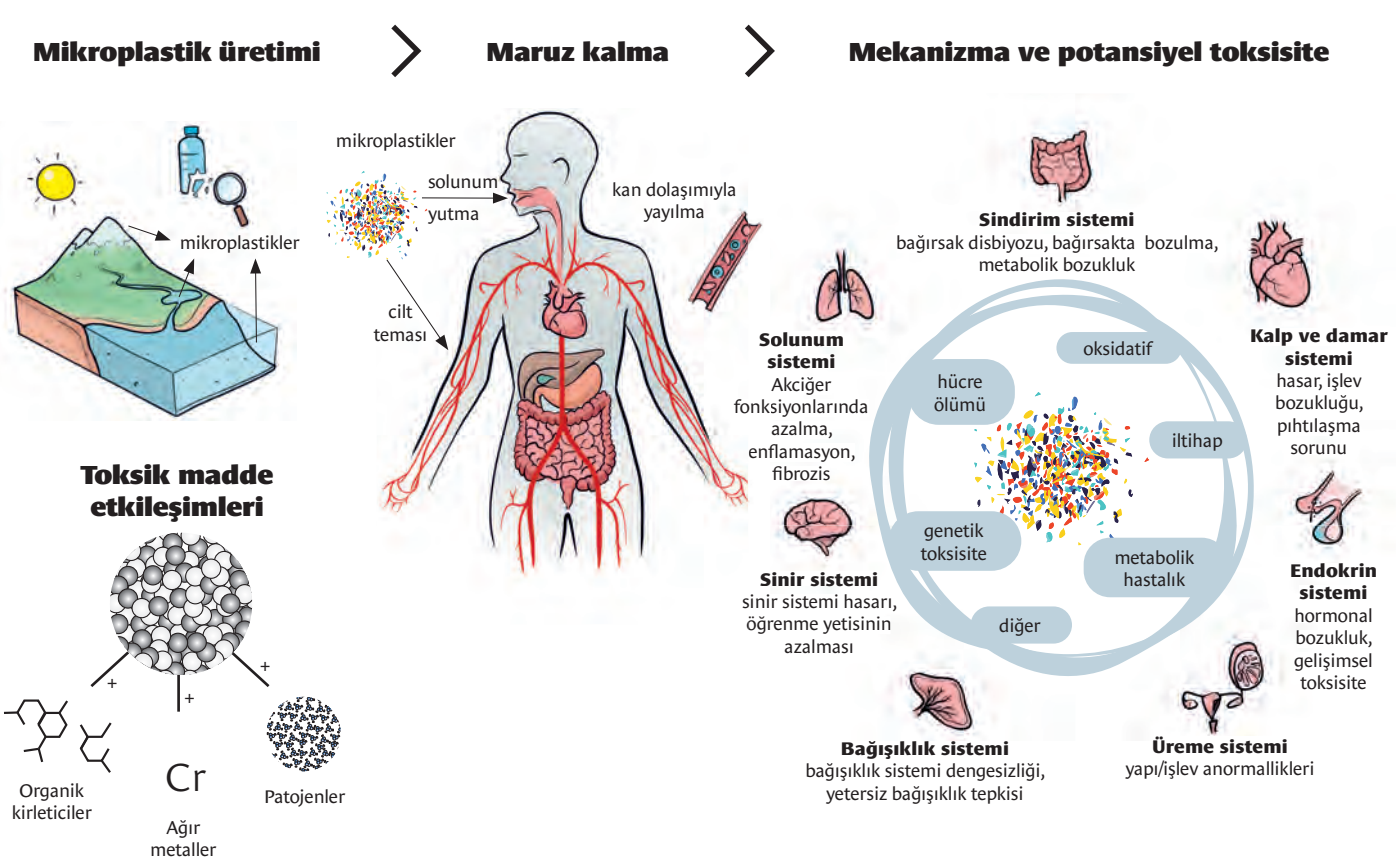
https://doi.org/10.1021/envhealth.4c00210

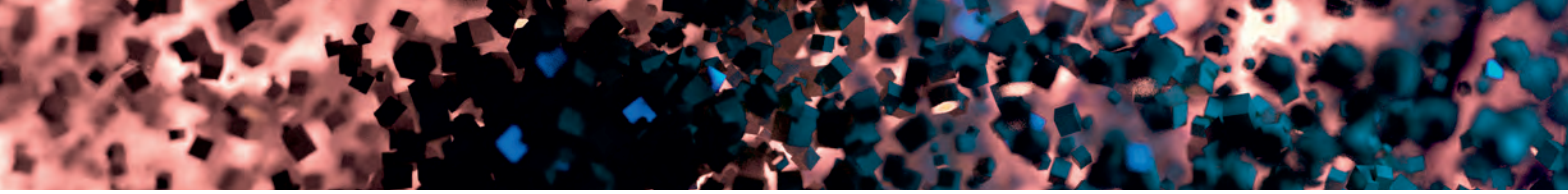
Mikroplastik Araştırmalarında Ortak Bir Yöntem Yok

Mikroplastikleri tespit etmek ve incelemek için farklı araştırma ekipleri birbirinden çok farklı yöntemler kullanabiliyor. Ancak bu yöntemlerin ne kadar güvenilir veya geçerli olduğunu değerlendiren çalışmalar henüz yeterli değil. New Mexico Üniversitesinde bağışıklık sistemi üzerine çalışan bilim insanı Eliseo Castillo, bu durumun önemli bir sorun yarattığını söylüyor. Ona göre standart bir yöntemin olmaması, farklı araştırma gruplarının elde ettiği verileri doğrudan karşılaştırmayı neredeyse imkânsız hâle getiriyor. Bu da mikroplastiklerin sağlık üzerindeki etkilerini anlamamızı zorlaştırıyor.

etkiler yaratabiliyor. Hayvanlar üzerinde yapılan yüzlerce deney, özellikle suda yaşayan canlıların mikroplastiklerden ciddi şekilde etkilendiğini ortaya koyuyor. Bu parçacıklar canlıların bağırsaklarını tıkayabiliyor, üreme yetilerini azaltabiliyor ve genel sağlık durumlarını kötüleştirebiliyor.

Tüm bu bulgulara bakarak bilim insanları, mikroplastiklerin insanlar için de risk oluşturabileceğini düşünüyor. Kanser, kalp ve böbrek hastalıkları, Alzheimer ve üreme problemleri gibi hastalıklarla mikroplastikler arasında bağlantı olabileceğini gösteren güçlü bulgular var. Mikroplastiklerin boyutu, şekli, yüzey yapısı ve kullanım ömrünü dolduktan sonra çevresel etkilere ne kadar süre maruz kaldığı gibi özellikleri, insan sağlığı ve çevre üzerinde ne ölçüde zararlı olabileceklerini doğrudan etkiliyor. Plastikler doğada zamanla parçalanırken fiziksel ve kimyasal özellikleri değişiyor. Örneğin renkleri soluyor, yüzeyleri pürüzleniyor, hatta boyutları ve yapıları değişebiliyor. Bu da onların canlılarla nasıl etkileşime gireceğini belirliyor. Ayrıca mikroplastikler yalnızca saf plastikten oluşmuyor. İçlerinde farklı katkı maddeleri





ve kimyasal maddeler de bulunuyor. Küçük boyutları nedeniyle yüzey enerjileri oldukça yüksek olduğundan çevredeki zararlı maddeler (özellikle ağır metaller ve toksik özellikteki organik maddeler) yüzeylerine kolayca tutunabiliyor. Bu kirleticileri yüzeylerinde taşıyan mikroplastikler, vücuda girdiklerinde sadece kendileri zararlı etki göstermiyor, beraberlerinde taşıdıkları toksik özellikteki diğer maddeler de vücuda zarar verebiliyor. Yani mikroplastikler hem kendileri zararlı hem de başka zararlı maddeler için bir taşıyıcı gibi davranabiliyor.

Yeni araştırmalar nano ve mikro ölçekteki plastiklerin hem insanlarda hem de kuşlarda solunum sistemine kadar ulaşabildiğini ortaya koydu. Bilim insanları, bu çıplak gözle görünmeyen parçacıkların KOAH, astım, nefes darlığı ve akciğer fibrozisi gibi solunum yolu hastalıklarıyla ilişkili olabileceğinden endişe ediyor.

Avustralya'daki Sydney Teknoloji Üniversitesinden araştırmacılar, farklı boyut ve şekillerdeki plastik parçacıklarının solunum sisteminde nasıl hareket ettiğini bilgisayar destekli modellerle inceledi. Elde ettikleri sonuçlara göre hızlı nefes alındığında büyük plastik parçacıklar üst solunum yollarında, yavaş nefes alındığında ise nano ölçekteki plastikler akciğerin derinliklerinde birikiyor.

Bu bulgular, solunum yoluyla alınan mikroplastiklerin vücudumuza nasıl ve ne hızda zarar verebileceğini anlama açısından büyük önem taşıyor. Araştırmacılar, mikroplastiklerin neden olduğu sağlık risklerini değerlendirirken nefes alma hızı ve partikül boyutu gibi faktörlerin mutlaka dikkate alınması gerektiğini vurguluyor.

Mikroplastikler Beyne Kadar Ulaşıyor!

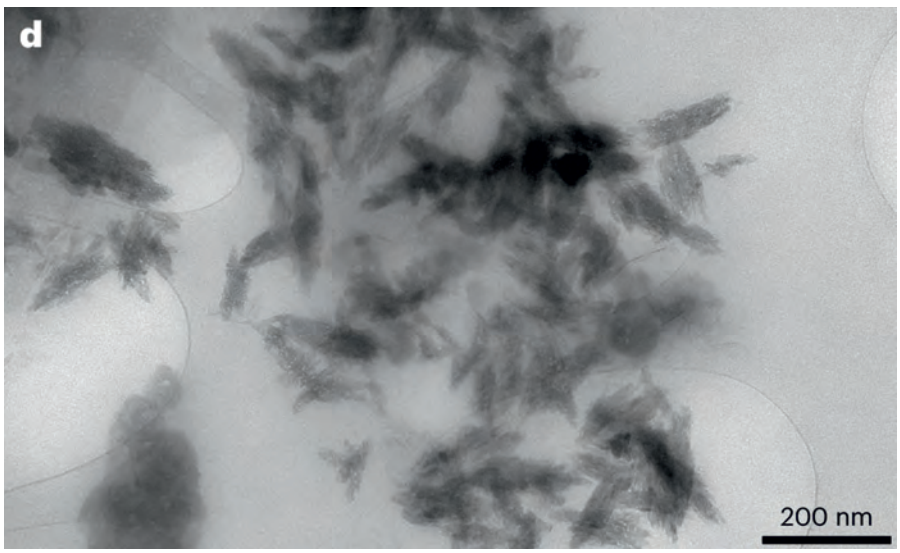
Yeni araştırmalar, mikroplastiklerin sadece vücudumuza girmekle kalmayıp beynimize kadar ulaşabildiğini ortaya koyuyor. Normalde beyni koruyan ve zararlı maddelerin geçişini engelleyen kan-beyin bariyeri, bu küçük plastik parçacıklarının geçişini engelleyemiyor. Bilim insanları, son 25 yılda toplanan 91 farklı beyin dokusu örneğini inceledikleri çalışmada beklenmedik bir bulguyla karşılaştılar: Beyin dokularında oldukça yüksek miktarda mikroplastik bulunuyordu. Üstelik daha yakın dönemde alınan örneklerdeki mikroplastik seviyesi, geçmişte alınanlara kıyasla ortalama olarak belirgin şekilde daha yüksekti. Araştırmanın sonuçları, 2024 yılının şubat ayında *Nature Medicine* dergisinde yayımlandı. 2016'da alınan beyin örneklerinde gram başına ortalama 3.345 mikrogram plastik bulunurken bu miktar 2024'te 4.917 mikrograma çıktı. Yani yalnızca sekiz yıl içinde yaklaşık %50'lik bir artış kaydedildi. Daha da dikkat çekici olan, 2024'e ait beyin dokusu örneklerinde karaciğer ve böbrek gibi diğer organlara kıyasla neredeyse 10 kat daha fazla plastik tespit edilmiş olması. Duke Üniversitesinden sinirbilimci Andrew West, beyinde bu kadar fazla mikroplastik

karetoria / GettyImages

bulunduğuna dair verileri gördüğünde doğruluğuna önce inanamadığını belirtiyor.

Rutgers Üniversitesinden toksikolog Phoebe Stapleton da çalışmanın önemli bir başka boyutuna dikkat çekiyor. Beyin dokularında bulunan plastik parçalarının şekli, laboratuvar deneylerinde karşılaştırma (referans) amaçlı kullanılan mikroplastiklerden çok farklıydı. Gerçek dokularda bulunan plastikler genellikle uzun, keskin kenarlı ve düzensiz kırıklar şeklindeydi. Bu da zararlı etki gösterme potansiyellerinin daha yüksek olabileceğini düşündürüyor. Ayrıca araştırmada beyin dokularında en sık rastlanan plastik türünün market poşetlerinde, şampuan şişelerinde ve oyuncaklarda yaygın olarak kullanılan polietilen olması dikkat çekti. Buna karşın laboratuvar çalışmalarında sıklıkla kullanılan polistirenin ise çok daha az miktarda bulunduğu görüldü. Tüm bu bulgular, mikroplastiklerin yalnızca çevreyi kirletmekle kalmadığını, kan-beyin bariyeri gibi doğal savunma mekanizmalarını aşıp insan vücudunun en korunaklı bölgelerine ulaşarak uzun vadeli sağlık sorunlarına yol açabileceğini gösteriyor.

Beyin dokusunda bulunan mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki etkileri henüz tam olarak bilinmiyor. Ancak bu



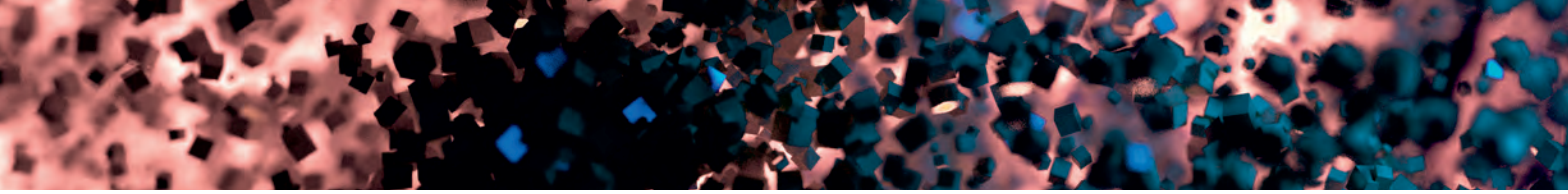
nature.com

İnsan beyin dokusunda uzunluğu 200 nanometreden ve genişliği 40 nanometreden küçük olan sivri plastik parçacıkları bulundu.

küçük parçacıkların olası zararlı etkilerine dair eldeki veriler, zihinsel ve nörolojik sağlıkla ilgili endişeleri giderek artırıyor. West, mikroplastiklerin beyinde bulunmasının insan sağlığı açısından tam olarak ne anlama geldiğini henüz bilmediklerini söylüyor. Buna karşın konuyla ilgili başka çalışmalar bu kaygıları destekler nitelikte.

Lahey Hastanesinden kardiyolog Dr. Sarju Ganatra'nın öncülüğünde yürütülen bir araştırmada, ABD'deki 218 kıyı ilçesinde yaşayan 6 milyondan fazla kişinin sinir sistemiyle ilgili bozukluklara sahip olup olmadıkları incelendi. Bu veriler, yaşadıkları bölgelerdeki deniz suyunda ölçülen mikroplastik seviyeleriyle karşılaştırıldı. Sonuç oldukça çarpıcıydı: Mikroplastik yoğunluğunun en fazla olduğu bölgelerde yaşayan bireylerde düşünme ve hafıza gibi bilişsel işlev bozuklukları %9 oranında daha yaygındı. Ayrıca bu kişiler giyinme, dışarı çıkma ve alışveriş yapma gibi günlük işlerini yerine getirmekte daha çok zorlanıyordu.

Hayvan deneyleri de bu sonuçları destekliyor. Fareler üzerinde yapılan araştırmalar, mikroplastiklerin beyin dokusuna geçmeden önce kan-beyin bariyerini zayıflattığını ve daha geçirgen hâle getirdiğini gösteriyor. Beyne ulaştıklarında ise bu parçacıklar, bağışıklık sistemi hücreleri olan mikroglialar tarafından hücre içine alınarak parçalanıyor. Ancak bu süreç, hücrelerin şişerek beyindeki kan akışını engellemesine ve çevredeki nöronlarda iltihaplanmaya neden olabiliyor. Mikroplastiklerin sinir sistemi üzerindeki etkilerini anlamak için zebra balıklarıyla yapılan deneyler, nöronlardaki



iltihaplanmanın, zebra balıklarında yüzme davranışını zayıflattığını ve depresyona benzer belirtilerin ortaya çıkmasına neden olduğunu gösteriyor. Yeni doğan farelerde ise nöronlar arasındaki bağlantıların sağlıklı şekilde gelişmesini engelleyerek sosyal becerilerin zayıflamasına yol açıyor.

Ayrıca mikroplastikler, öğrenme ve hafızada önemli rol oynayan asetilkolin ile sosyal bağlar üzerinde etkili olduğu düşünülen oksitosin hormonunun seviyelerini düşürebiliyor. Bu da bağ kurma, iş birliği, iletişim gibi sosyal davranışlarda azalmaya ve bilişsel işlevlerde gerilemeye yol açabiliyor. Dahası bu parçacıklar beyne ulaşmadan da sinir sistemine zarar verebiliyor. Bağırsaklardaki faydalı bakterilerin dengesini bozarak bağırsak ve beyin arasındaki sinirsel iletişim ağı üzerinden zihinsel işleyişi dolaylı yoldan etkileyebiliyorlar. Farelerde yapılan deneylerde bu durum, kısa süreli hafıza sorunlarına ve asosyal davranışlara neden oldu.

Laboratuvar ortamında insan beyin hücreleriyle yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar gözlendi. Yüksek miktarda mikroplastik maruziyeti, nöronların ölmesine yol açarken daha düşük dozlarda bu parçacıklar hücre içinde birikip şekil bozukluklarına neden oldu.

Elbette insanlar üzerinde hayvanlardaki gibi kontrollü deneyler yapmak mümkün değil. Bu nedenle mikroplastiklerin insanlarda bilişsel süreçler üzerindeki tam etkilerini anlamak zaman alabilir. Yine de Exeter Üniversitesinden çevre toksikoloğu Tamara Galloway, mikroplastiklerin insanlar üzerinde de ciddi sağlık sorunlarına neden olabileceği görüşünde. Bugüne kadar yapılan hayvan çalışmaları, mikroplastiklerin beyin sağlığı ve davranışlar üzerinde sanıldığından çok daha derin etkiler yaratabileceğini düşündürüyor. Hatta bazı bulgular, beyninde daha fazla mikroplastik bulunan bireylerde Alzheimer gibi nörolojik hastalık riskinin daha yüksek olabileceğine işaret ediyor.

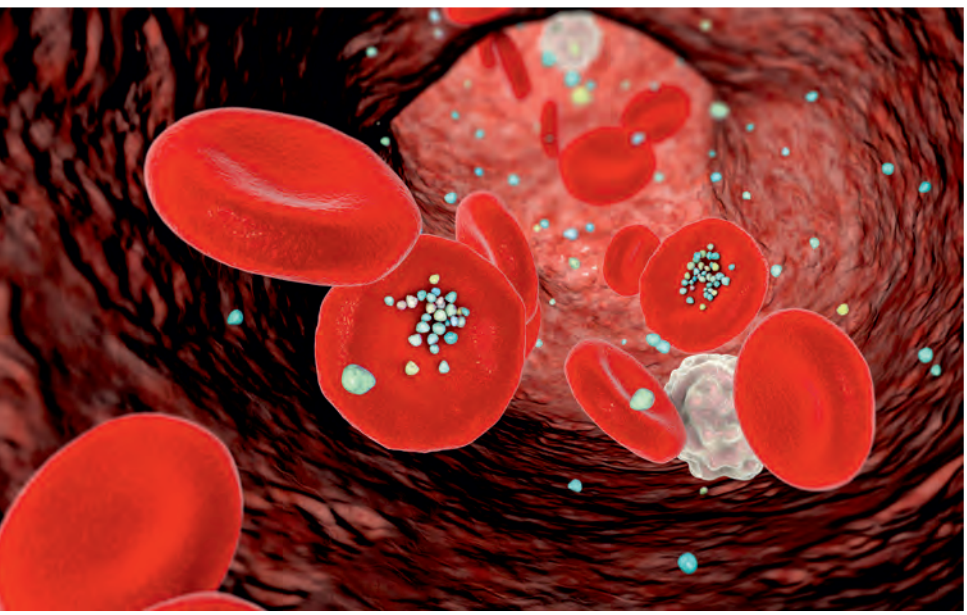
Svetlozar Hristov / iStock

Mikroplastikler Atardamarlarımızı da İstila Ediyor!

Mikroplastiklerin sağlığımız üzerindeki etkileri her geçen gün daha fazla araştırılıyor. Yeni bir çalışma, bu küçük plastik parçacıkların özellikle çok daha küçük boyutlu olan nano ve mikroplastiklerin (NMP), boynumuzun her iki yanında yer alan ana atardamarlar olan karotis arterlerinde (şah damarı olarak da bilinir) birikerek felç riskini artırabileceğini gösteriyor.

Araştırmaya göre karotis arterlerinde plak birikimi olan bireylerin damarlarında, sağlıklı damarlara sahip kişilere göre 50 kat daha fazla mikroplastik bulundu. Bu plaklar, damarları daraltarak beyne giden kan akışını engelleyebiliyor ve bu durum felç ya da geçici görme kaybı gibi ciddi sorunlara yol açabiliyor.

Çalışma, 50'den az kişiyle yapılmış olsa da ortaya koyduğu sonuçlar dikkat çekici. Felç veya görme kaybı yaşayan kişilerin karotis arterlerindeki mikroplastik



yoğunluğunun semptom göstermeyenlere göre çok daha yüksek olduğu tespit edildi. Üstelik bu mikroplastiklerin yalnızca damar içinde birikmediği aynı zamanda iltihaplanma süreçlerini ve damarların yapısını korumada rolü olan genlerin aktivitesini de etkileyebileceği anlaşıldı. Araştırmada damarlarda mikroplastik miktarıyla iltihaplanma arasında doğrudan bir ilişki saptanmasa da damar sağlığını koruma da rolü olan genlerin bu bölgelerde farklı şekilde çalıştığı gözlemlendi. Bu da mikroplastiklerin damar sağlığını fark edilmesi zor süreçlerle bozabileceğine işaret ediyor.

Uzmanlar, bu çalışmanın mikroplastiklerin insan vücudundaki biyolojik etkilerini anlamaya yönelik ilk bulguları sunduğunu, sürecin daha iyi ortaya konması için kapsamlı araştırmalara ihtiyaç olduğunu vurguluyor.

Ancak şimdiden söyleyebiliriz ki, görünmeyen bu plastik parçacıkları yalnızca çevreyi değil, damarlarımızı ve sağlığımızı da etkileyebilecek kadar dokularımıza işlemiş durumda.

Antibiyotik Direncinin Yeni Nedeni Mikroplastikler Olabilir

Yeni bir araştırma, mikroplastiklerin yalnızca çevreyi kirletmekle kalmadığını aynı zamanda insan sağlığı için ciddi bir risk oluşturduğunu ortaya koyuyor. Boston Üniversitesinden Neila Gross'un öncülüğünde yürütülen çalışmaya göre bu görünmeyen plastik parçacıkları, antibiyotiklere karşı dirençli bakterilerin yani "süper mikropların" çoğalmasını kolaylaştırıyor. Bu durum, enfeksiyonlarla mücadeleyi zorlaştıran önemli bir halk sağlığı sorununa neden olabileceği anlamına geliyor.

Mikroplastikler, yüzeylerinde bakteri kolonileri barındırabiliyor. Bu mikroskobik yaşam alanlarına "plastisfer" adı veriliyor. Araştırmacılar polistiren, polietilen ve polipropilen gibi farklı plastik türleri üzerindeki bakterileri 10 gün boyunca gözlemledi. Bu süreçte antibiyotiklerin etkisini ölçmek için her iki günde bir test yaptılar. Sonuçlar çarpıcıydı: Mikroplastiklerle temas eden bakteriler, antibiyotiklere karşı daha hızlı direnç geliştiriyordu.

Dahası mikroplastikler ortadan kaldırılsa bile bu direnç etkisi devam edebiliyordu. Özellikle polistiren türündeki mikroplastiklerin en yüksek direnç seviyelerine yol açtığı ve bu etkinin temelinde "biyofilm" adı verilen bu etkinin bakterilerin yüzeylere tutunarak salgıladıkları koruyucu maddelerle oluşturduğu, onları dış etkenlere karşı dirençli hale getiren "biyofilm" adı verilen yapının yer aldığı belirlendi.

Kısacası doğadaki ve vücudumuzdaki miktarı giderek artan mikroplastikler, antibiyotiklerin etkinliğini azaltarak bizi gelecekte bakterilere karşı daha savunmasız hâle getirebilir.

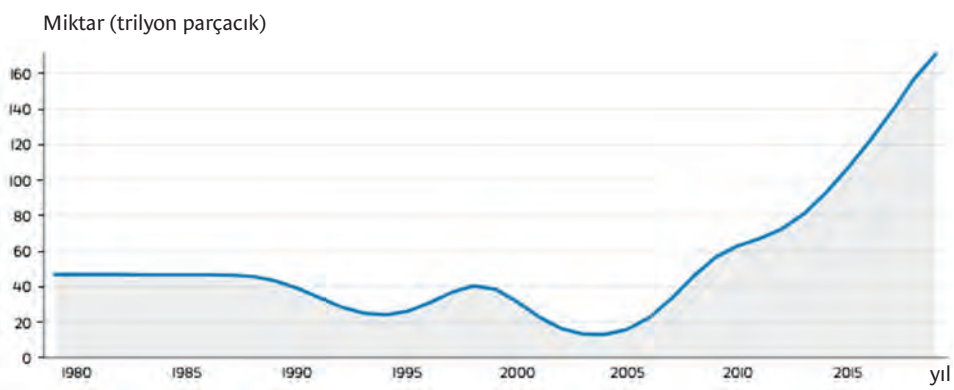
Okyanuslardaki Mikroplastik Alarmı: Tehlike Büyüyor

Bilim insanları, okyanuslarda biriken mikroplastik miktarının artık "alarm verici" boyutlara ulaştığını söylüyor. Güncel verilere göre denizlerinin yüzeyinde yaklaşık 2,3 milyon ton mikroplastik bulunuyor. Üstelik bu miktar, 2005 yılından bu yana büyük bir hızla artıyor.

Mikroplastik kirliliği aslında yeni bir sorun değil. 1970'lerden bu yana okyanuslardaki plastik atıklar izleniyor. Ancak son yıllarda durum çok daha endişe verici bir hâl aldı. Gyres Enstitüsünden Marcus Eriksen ve Lisa Erdle'nin yaptığı bir araştırma, 1979 ile 2019 yılları arasında okyanusların yüzeyindeki 11 binden fazla ölçüm istasyonundan toplanan verileri inceledi. Bulgulara göre 2005-2019 yılları arasında okyanuslardaki plastik yoğunluğu yaklaşık 10 kat arttı.

Bu artışın nedenleri açık: 2005 sonrası dünya genelinde toplam plastik üretimi neredeyse ikiye katlandı ve plastik kirliliğini önlemeye yönelik güçlü, uluslararası bağlayıcılığı olan bir anlaşma hâlâ hayata geçirilemedi. Buna ek olarak

1979'dan 2019'a denizlerdeki tahmini plastik miktarı değişimi



Plos one doi: 10.1371/journal.pone.0281596

kullanım ömrü biten plastiklerin zamanla mikroplastiğe dönüşmesi de kirliliğin etkilerini daha da derinleştiriyor.

Araştırmacılardan Lisa Erdle, bu gidişatın durdurulabilmesi için plastik üretiminde radikal bir değişiklik gerektiğini vurguluyor. 2022 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Meclisi plastik kirliliğiyle mücadele için uluslararası bir anlaşma hazırlamak üzere müzakerelerin başlatılması kararı aldı. Ancak Erdle bu anlaşmanın bağlayıcı ve uygulanabilir olması gerektiğini söylüyor. Ayrıca anlaşmanın plastik üretimine doğrudan bir sınır getirmesi gerektiğini de ekliyor. Aksi takdirde 2040 yılına kadar okyanuslara karışan plastik miktarının 2016'ya kıyasla 2,6 kat artabileceği uyarısında bulunuyor.

Diğer birçok bilim insanı da plastik üretiminin kontrol altına alınması gerektiği görüşünde birleşiyor. Çünkü mikroplastikler, yalnızca çevreyi değil, deniz yaşamını ve nihayetinde insan sağlığını da tehdit ediyor.

Mikroplastikler Toprağa ve Soframıza Nasıl Ulaşıyor?

Mikroplastikler artık yalnızca okyanusların değil, karasal ekosistemlerin de ciddi bir sorunu hâline geldi. Küçük olmalarına rağmen çok geniş bir alana yayılmaları, doğada uzun süre kalabilmeleri ve canlılar üzerindeki potansiyel zararları nedeniyle küresel ölçekte bir çevre tehdidi olarak görülüyorlar. Özellikle sularla ilgili çok sayıda araştırma yapılmış olsa da mikroplastiklerin tarım alanlarındaki etkileri ve besin zincirine dâhil olarak insan sağlığını nasıl etkilediği henüz yeterince araştırılmış değil. Yine de uzmanlar, bu parçacıkların gıda zincirine girerek insan sağlığı için risk oluşturabileceğine dikkat çekiyor.

Mikroplastikler tarım arazilerine farklı yollarla ulaşabiliyor. En yaygın kaynakları, kanalizasyon çamurları ve organik atıklarla yapılan gübreleme. Atık suların arıtılması sürecinde içindeki katı maddelerin çöktürülmesi sonucu elde edilen çamurlar, organik içerikli katı maddeler olan biyokatılar ve hayvansal gübreler, içerdikleri mikroplastikler nedeniyle toprağın kirlenmesine neden olabiliyor. Ayrıca zararlı otların büyümesini engellemek için tarımda sıklıkla kullanılan plastik örtüler (malçlar) zamanla parçalanarak mikroplastiklere dönüşüyor.
Sulama sistemleri de risk oluşturuyor: Özellikle su kaynaklarının kısıtlı olduğu bölgelerde atık sularla yapılan sulama, bu parçacıkları doğrudan tarlalara taşıyabiliyor.

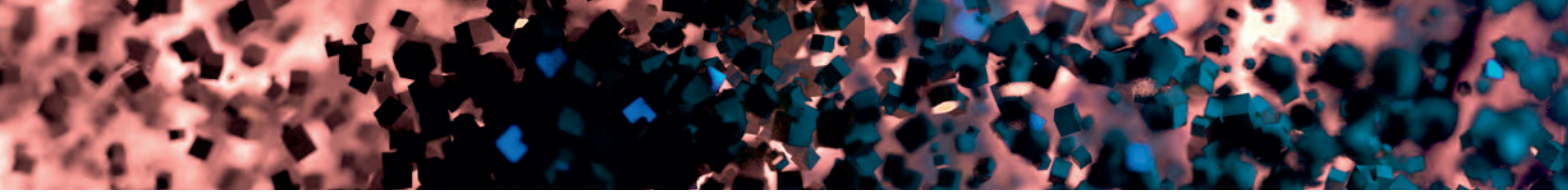
Toprağa karışan mikroplastikler yalnızca çevreyi değil aynı zamanda gıda güvenliğini ve tarımsal verimi de tehdit ediyor. Bitkilerin köklerinden başlayarak gövdelerine, yapraklarına ve meyvelerine kadar taşınabilen bu parçacıklar, doğrudan soframıza kadar ulaşabiliyor. Ayrıca toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirerek mikrobiyal dengeyi bozuyor, besin döngüsünü sekteye uğratıyor ve toprağın su tutma kapasitesini azaltıyor. Tüm bunlar bitki gelişimini olumsuz etkiliyor ve ürün veriminde düşüşe neden olabiliyor.

Kısacası, mikroplastikler artık yalnızca çevresel bir mesele değil; tarım, beslenme ve sağlıkla doğrudan bağlantılı, çok boyutlu bir sorun hâline gelmiş durumda.

Birleşik Krallık'taki Lancaster Üniversitesinden araştırmacılar, 1843'ten bu yana süregelen bir çalışmada gübrelerin tarımsal üretimde kullanılan topraklardaki mikroplastik kirliliğinin başlıca kaynağı olduğunu ve son 50 yılda bu

gyro / iStock

Plastik malçlama



Mikroplastik Lifler, Kuraklık Kadar Zararlı Olabilir

Berlin'deki Freie Üniversitesinde yürütülen bir araştırma, mikroplastik liflerin -özellikle de poliesterden yapılmış olanların- toprak sağlığı üzerindeki etkilerini inceledi. Ve ortaya çıkan sonuç oldukça dikkat çekici: Bu plastik lifler, verimli topraklarda kuraklık kadar zarar verici olabilir.

Araştırmada bilim insanları kum, mil ve kilden oluşan toprağa 1,28 mm uzunluğunda mikroplastik lifler ekledi ve bu ortamda çayır ekosistemlerinde bulunan yedi farklı bitki türü yetiştirdi. Bitkilerin yetiştirildiği saksıların bir bölümü düzenli olarak sulanırken diğer kısmı kuraklık koşullarına maruz bırakıldı. Amaç, sadece bitki gelişimini gözlemlemek değil aynı zamanda toprağın işlevlerini sağlıklı bir şekilde yerine getirip getirmediğini ölçmekti.

Bilim insanları, toprakta karbondioksit salımı (respirasyon), pH, topaklaşma kabiliyeti, besinleri tutma kapasitesi, organik atıkların parçalanma hızı gibi önemli faktörleri inceledi. Toprağın bu temel işlevlerini ne ölçüde yerine getirdiğini, "ekosistem çok işlevliliği" adlı bir genel değerlendirme ölçütü ile belirlediler.

Sonuçlar karmaşıktı: Mikroplastik lifler bazı açılardan olumlu etki yarattı. Örneğin toprağın su tutma ve bitki köklerini destekleme yeteneğini belirleyen fiziksel yapısının göstergesi olan topaklanma kabiliyeti %18, besin tutma kapasitesi %70 ve organik artıkların parçalanması %6 oranında artış gösterdi. Ancak bu olumlu etkiler uzun vadede sürdürülebilir görünmüyor. Çünkü özellikle iyi sulanan topraklarda mikroplastikler, toprak enzimlerinin verimliliğini ve toprak respirasyonunu yani karbondioksit salımını düşürerek ekosistem çok işlevliliğinde %34'e kadar azalmaya yol açtı.

Kurak koşullarda mikroplastiklerin etkisi daha az belirgin olsa da araştırmacılar, mikroplastik liflerin özellikle verimli tarım arazilerinde toprak sağlığını ve verimini tehdit ettiğini vurguluyor. Bu etki, kuraklık gibi doğal stres faktörleriyle kıyaslanabilecek ölçüde güçlü olabilir.

En dikkat çekici noktalardan biri ise şu: Bu deneyler günümüzde toprakta tespit edilen mikroplastik kirliliği seviyelerine göre yapıldı. Oysa uzmanlar, asıl sorunun mikroplastik kirliliğinin gelecekte daha da artmasıyla baş göstereceğine dikkat çekiyor. Yani mikroplastiklerin bugünkü etkisi bu kadar belirgense ileride karşılaşabileceğimiz tablo çok daha endişe verici olabilir.

kirliliğin önemli ölçüde arttığını keşfetti.
Rothamsted Research'te toplanan eski toprak örneklerinin incelendiği araştırma, toprak örnekleri üç gruba ayırarak gerçekleştirildi: Gübre verilmemiş toprak, organik kompost ya da organik gübre ile işlenmiş toprak ve geleneksel gübrelerle işlenmiş toprak.
1966'dan önce toplanan örneklerde mikroplastiklere çok az rastlanırken son 50 yılda her üç grupta da mikroplastik yoğunluğunda önemli bir artış gözlemlendi. Bu, gübre kullanılmayan topraklarda bile

Yeni bir araştırma, mikroplastiklerin bitkilerde fotosentezi %7–12 oranında azalttığını ortaya koydu. Bu durum mısır, buğday ve pirinç gibi temel tarım ürünlerinde verim kaybına, deniz yosunlarının zarar görmesiyle de deniz ürünlerinde %7'ye varan üretim düşüşüne yol açabilir. Fotosentezin azalması sadece gıda güvenliğini değil aynı zamanda atmosferden karbondioksit emilimini azaltacağı için iklim değişikliğiyle mücadeleyi de zorlaştırıyor. Uzmanlara göre çevreye karışan mikroplastiklerin yalnızca %13 azaltılması bile fotosentezdeki azalmadan kaynaklanan kayıpların üçte birini önleyebilir. Bu nedenle araştırmacılar, küresel ve bağlayıcı bir plastik kirliliği anlaşmasının acilen yapılması gerektiğini vurguluyor.

mikroplastik kirliliğinin ortaya çıktığını gösteriyor. Gübrelerin mikroplastik yoğunluğunu artırdığı, özellikle organik veya inorganik gübrelerle işlenmiş topraklarda bu artışın daha belirgin olduğu bulundu. İnorganik gübrelerin mikroplastikleri yayma riskinin olabileceği çünkü birçok gübrenin besin maddelerini toprağa yavaşça salmak için polimerlerle kaplandığı ifade ediliyor. 2022 yılında yapılan bir başka çalışmada ise tarımsal gübre olarak kullanılan atık su çamurunda büyük miktarda mikroplastik bulunduğu gözlemlendi. Avrupa'da her yıl 31.000 ila 42.000 ton arasında mikroplastik, tarımsal topraklara karışıyor.

Araştırmalar ayrıca marul ve buğday gibi bitkilerin köklerinin çevrelerindeki topraktan ve sudan mikroplastikleri emebileceğini, bu mikroplastiklerin bitkinin yenilebilir kısımlarına geçebileceğini ortaya koyuyor. Mikroplastiklerin toprağın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerini değiştirdiği ve bu değişimlerin tarımsal verimliliği ve üretimi olumsuz yönde etkileyebileceği belirtiliyor.

Mikroplastiklerden Kurtulmak Mümkün mü?

Mikroplastikler için arıtma stratejilerinin ana odağı, genellikle bulundukları su ekosistemlerinden uzaklaştırılmalarıdır. Sucul ortamlardan mikroplastikleri uzaklaştırmak için genel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılıyor. Bu yöntemler, atık su arıtma tesislerinde içme suyu eldesinde ve endüstriyel atık suların arıtılarak deşarj edilmesinde kullanılıyor. Fiziksel arıtma yöntemleri, mikroplastikleri sudan mekanik yollarla uzaklaştırmayı amaçlıyor ve genellikle kimyasal veya biyolojik işlemlerden önce uygulanıyor. Kimyasal arıtmada ise su çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak bir dizi reaksiyon sonucu arıtılıyor. Fiziksel ve biyolojik yöntemlerle uzaklaştırılamayan mikroplastikler için kimyasal arıtma önem taşıyor. Koagülasyon, flokülasyon, elektrokimyasal oksidasyon, fotolitik bozunma, ozonlama

Çin'deki Jinan Üniversitesinde yapılan bir araştırma, çeşme suyunun 5 dakika kaynatılmasıyla içindeki nanoplastik ve mikroplastik (NMP) miktarının %80 oranında azaldığını ortaya koydu. Bu azalma, NMP'lerin suyun içindeki kalsiyum kristallerine tutunarak dibe çökmesi sayesinde gerçekleşiyor. Özellikle "sert" sularda bu etki daha fazla görülüyor. Suyu kaynatmak ayrıca mikroorganizmalar gibi diğer zararlı unsurları da azaltabiliyor. Uzmanlar, bu yöntemi NMP'leri azaltmak için pratik ve etkili bir çözüm olarak değerlendiriyor ve arıtma tesislerinde uygulanmasının halk sağlığı açısından önemli bir adım olabileceğini belirtiyor.

Mikroplastik giderme yöntemleri

Fiziksel Yöntemler

- Adsorpsiyon
- Filtrasyon
- Flotasyon yöntemi
- Yağ filmi yöntemi
- Manyetik ayırma

Kimyasal Yöntemler

- Koagülasyon ve Flokülasyon
- Elektrokimyasal oksidasyon
- Fotokatalitik bozulma
- Ozonlama
- Sol-jel teknikleri

Biyolojik Yöntemler

- Biyoreaktör ve dinamik membran teknikleri
- Biyofiltre veya biyokömür filtre
- Biyobozulma

Yöntem Türü	Tanım	Avantajları	Dezavantajları
Fiziksel Yöntem	Mikroplastikleri fiziksel yollarla ayırma (filtreleme, çökeltme vb.)	Uygulaması kolay, hızlı	Çok küçük parçacıklar için yetersiz kalabilir
Kimyasal Yöntem	Kimyasal maddeler kullanarak mikroplastikleri başka maddelere dönüştürme veya çöktürme	Etkili sonuç verebilir	Kimyasal kalıntılar çevre için risk oluşturabilir
Biyolojik Yöntem	Mikroorganizmalar veya enzimlerle mikroplastikleri parçalama	Doğaya uyumlu, sürdürülebilir	Henüz araştırma aşamasında, büyük ölçekli uygulamaları sınırlı

ve sol-jel teknolojisinin yer aldığı kimyasal yöntemlerle zararlı mikroplastikler daha az zararlı kimyasal maddelere dönüştürülüyor. Biyolojik yöntemlerde, sucul ortamlarda ve atık sularda bulunan mikroplastik kirliliği çeşitli organizmalar kullanılarak gideriliyor. Bilim insanları, farklı biyolojik türleri kullanarak mikroplastiklerin biyolojik bozunma yoluyla uzaklaştırılması için olası arıtma yöntemlerini araştırmaya devam ediyor.

Mikroplastikleri sudan uzaklaştırmak için geliştirilen farklı tekniklerin her birinin kendine göre avantajları ve dezavantajları var. Bu yöntemlerin başarısı, mikroplastiklerin boyutu, suyun akış hızı, pH seviyesi ve parçacıkların yoğunluğu gibi birçok faktöre bağlı. Her ne kadar bilim insanları bu amaçla daha verimli ve yenilikçi yöntemler üzerinde çalışıyor olsa da uzmanlar en etkili çözümün mikroplastik oluşumunu en baştan önlemek olduğunu vurguluyor.

Oliver Helbig / GettyImages

Tüm bu veriler gösteriyor ki mikroplastikler yalnızca çevreyi değil, doğrudan sağlığımızı da tehdit ediyor. Gözle görülmeyen bu parçacıklar, vücudumuza girerek hücresel düzeyde hasarlara yol açabiliyor ve hatta beyin fonksiyonlarımızı bile etkileyebiliyor. Bu nedenle mikroplastik kirliliği yalnızca çevresel bir sorun değil aynı zamanda bir halk sağlığı sorunu.

Mikroplastik kirliliğiyle mücadele için bilimsel araştırmalar ve yasal düzenlemeler kadar bireysel önlemlerin de hız kazanması gerekiyor. Her birimizin atacağı küçük adımlar, daha sağlıklı bir gelecek için ortak bir etki yaratabilir. Daha temiz bir dünya için şimdi harekete geçme zamanı. ■

Kaynaklar

- https://www.sciencenews.org/article/microplastics-human-bodies-health-risks
- https://www.britishwaterfilter.com/forever-and-ever-a-timeline-of-how-microplastics-got-everywhere-hindustan-times/
- https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281596
- https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052
- https://doi.org/10.1021/envhealth.4c00210
- https://www.scientificamerican.com/article/how-microplastics-get-into-our-food/
- https://www.newscientist.com/article/mg26635421-000-what-are-microplastics-doing-to-your-brain-were-starting-to-find-out/
- https://doi.org/10.1128/aem.02282-24
- https://doi.org/10.61373/bm025c.0020
- https://www.scientificamerican.com/article/microplastic-pollution-is-messing-with-photosynthesis-in-plants/
- https://www.acs.org/pressroom/presspacs/2025/march/medical-infusion-bags-can-release-microplastics.html

Bilim Çizgi

Sinancan Kara [*btcizgiroman@tubitak.gov.tr*

KEŞFİNİ ANLATMAK İÇİN EVİNE, EŞİNİN YANINA GİDER...
YENİ BİR TÜR IŞIK KEŞFETTİM!
KATILARI GEÇEBİLEN BİR IŞIK! GÖZÜMÜZLE GÖREMİYORUZ AMA PERDELER ONU DURDURAMIYOR!
DUR, SAKİN OL! NASIL YANİ?
PERDELERİ GEÇEBİLEN IŞIK... BU NASIL OLUR?
HENÜZ BEN DE BİLMİYORUM.
TÜPÜN İÇİNDEN BİZİM GÖREMEDİĞİMİZ, BİLMEDİĞİMİZ BİR IŞIN YAYILIYOR. HAYDİ ADINA X IŞINI DİYELİM, HANİ MATEMATİKTE BİLİNMEYENE X DERİZ YA... BİZİM GÖRDÜĞÜMÜZ IŞIK ÖRNEĞİN TAHTAYI AŞAMAZ. BU X IŞINI İNCE TAHTAYI BİLE GEÇEBİLİYOR!
AMA DENEDİM, METALLERİ AŞAMIYOR. FLORESANS ÖZELLİĞİNE SAHİP MALZEME İLE KAPLI BLOĞUN ÖNÜNE METAL KOYDUĞUMDA BLOK PARLAMIYOR.
BU BİLİNMEYEN, "X IŞINI" DEDİĞİN IŞIK SAYESİNDE PERDELERİN ARKASINI GÖREBİLİR MİYİZ PEKİ?
EVET... NEDEN OLMASIN? X IŞINI VASITASIYLA FOTOĞRAF ÇEKİLEBİLİR! NORMAL FOTOĞRAFTA IŞIK FOTOĞRAF FİLMİNİN ÜZERİNE DÜŞÜYOR VE FİLMİN ÜZERİNDEKİ IŞIĞA DUYARLI MALZEME İLE ETKİLEŞİYOR. BÖYLE BİR YÖNTEM UYGULANABİLİR.
HAYDİ LABORATUVARA!
...
X IŞINI FİLMİN ÜZERİNE DÜŞECEK VE GÖRÜNTÜ OLUŞACAK.
X IŞINI ELİMİ DE GEÇEBİLECEK Mİ BAKALIM?
RÖNTGEN, EŞİNİN ELİNİN FOTOĞRAFINI SUNMAK İÇİN BİLİM İNSANLARINI DAVET EDER...
X IŞINI ELDEKİ YUMUŞAK DOKULARI AŞABİLMİŞ.
FAKAT KEMİĞİ AŞAMAMIŞ. ELDEN GEÇTİĞİ YERLERDE FOTOĞRAF FİLMİNİ KARARTTIĞINI GÖRÜYORUZ. AŞABİLDİĞİ YERLER BU YÜZDEN SİYAH.
KEMİK İSE BEYAZ KALABİLMİŞ. ÇÜNKÜ IŞIN FİLME ULAŞAMAMIŞ.
BU IŞINA NE AD VERMEK İSTERSİNİZ? RÖNTGEN IŞIĞI NASIL?
ÇOK SAĞ OLUN AMA X IŞINI DEMEYE ALIŞTIM! ÖYLE KALSIN.
X IŞINI BUGÜN MEDİKAL GÖRÜNTÜLEMEDEN GÜVENLİK AMAÇLI TARAMALARA PEK ÇOK ALANDA KULLANILIYOR.
BUGÜN, KEŞFİN YAPILDIĞI KATOT TÜPÜNDEN X IŞININ NASIL YAYILDIĞINI BİLİYORUZ. TÜPTEKİ ELEKTRONLAR, ELEKTRİK ALAN SAYESİNDE BİR UÇTAN DİĞERİNE HAREKET EDER. ELEKTRONLAR, TÜPÜN KARŞI UCUNDAKİ METAL ANODA ÇARPTIKLARINDA ANİ ŞEKİLDE YAVAŞLAR VE METAL ATOMLARIYLA ETKİLEŞİME GİREREK ENERJİ KAYBEDER.
BU ENERJİ, X IŞINI OLARAK YAYILIR. X IŞINI ÇOK YÜKSEK ENERJİLİDİR VE YÜKSEK DOZDA MARUZ KALINDIĞINDA VÜCUDA ZARAR VEREBİLİR.
SON.

Antarktika'da Mikroplastik Kirliliği

Prof. Dr. Ülgen Aytan [*Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Deniz Biyolojisi Ana Bilim Dalı*

Dünya'nın bozulmamış son doğal alanlarından biri olarak kabul edilen Antarktika, gezegenimizin iklim sistemi ve ekosistemleri açısından hayati rolü olan eşsiz ve hassas bir bölgedir. Ancak bu uzak coğrafyada da giderek artan mikroplastik kirliliği, ekolojik ve küresel düzeyde ciddi sonuçlar doğurma potansiyeline sahip.

Bu fotoğraf, T.C. Cumhurbaşkanlığı himayesinde, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı uhdesinde ve TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü (KARE) koordinasyonunda gerçekleştirilen 8. Ulusal Antarktika Bilim Seferi (TAE-VIII) sırasında çekildi. (Fotoğraf: Kağan Gökhan Görgişen)

Antarktika'nın uzak ve erişilmesi zor konumuna rağmen kıtada görülen mikroplastik kirliliği hem yerel hem de küresel ölçekteki insan faaliyetlerinden kaynaklanır. Yerel düzeyde Antarktika'da kurulu olan araştırma istasyonlarının faaliyetlerine ve bu bölgedeki turizm etkinliklerine bağlı olarak sentetik giysilerden, atık suların yeterli düzeyde arıtılmadan çevreye deşarj edilmesinden ve yetersiz yönetilen plastik atıklardan mikroplastik ve mikrofiber salımı gerçekleşebilir. Güney Okyanusu'ndaki balıkçılık faaliyetleri de (örneğin kaybolan av ekipmanları ve taşımacılıkla ilişkili reçine peleti döküntüleri) önemli kirlilik kaynakları arasında yer alır. Küresel ölçekte ise mikroplastikler, okyanus akıntıları özellikle Antarktik Çevresel Akıntısı ve atmosferik taşınım yoluyla kaynağından binlerce kilometre uzağa taşınarak Antarktika'ya ulaşır ve yağışlarla birlikte yeryüzüne iner. Ayrıca akıntılarla taşınan ya da deniz buzuna hapsolan büyük plastik parçaları, Güneş'ten gelen morötesi ışınımın etkisi ve fiziksel aşınma ile ayrışarak mikroplastikleri oluşturur. Bu parçacıklar buz, kar ve tortularda birikerek bölgenin çevresel değişimlere son derece hassas olan ekosistemi için ciddi bir tehdit oluşturur.

Mikroplastikler, Antarktika besin zincirindeki kritik öneme sahip türlerden biri olan kril gibi deniz canlıları tarafından yutulabilir. Bu durum, krillerin beslenme alışkanlıklarını bozabilir, enerji rezervlerini tüketebilir ve üreme verimliliklerini azaltabilir. Ayrıca zincirleme bir etkiyle balıklar, deniz kuşları ve deniz memelileri gibi besin zincirinin üst düzeylerindeki canlıları da olumsuz yönde etkileyebilir. Ayrıca zararlı kimyasal maddeler ve patojenleri (hastalık yapıcı mikroorganizma ve virüsler) de barındırabilen mikroplastikler, bu bozulmamış ekosisteme kirletici unsurları taşıyarak yerli türleri tehdit eder.

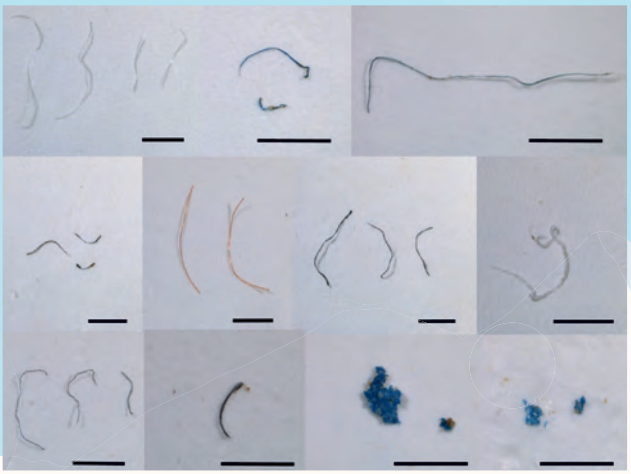
Son yıllarda yapılan araştırmalar, Antarktika'da insan faaliyetleri sınırlı olmasına rağmen kıtanın mikroplastiklerle kirlenmiş olduğunu ortaya koyuyor. Çeşitli bölgelerden alınan kar, buz, tortu ve su örneklerinde mikroplastiklerin bulunduğu verilerle doğrulandı. Derin deniz tortularında diğer ekosistemlere göre daha yüksek yoğunlukta mikroplastik tespit edilmesi, Antarktika'da derin deniz ortamlarının beklenenden daha fazla mikroplastik biriktirdiğini gösteriyor.

Bu birikim buz, kar ve tortuların fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirerek yaşamsal faaliyetleri bu habitatlara bağımlı canlıları da etkileyebilir. Üstelik Antarktika sadece yerel bir ekosistem değil aynı zamanda küresel iklimin düzenlenmesinde ve dünyanın biyolojik çeşitliliğinde kritik bir rol oynuyor. Bu nedenle mikroplastik kirliliği sadece Antarktika'yı değil, tüm dünyayı etkileyebilecek ekolojik ve iklimsel sonuçlara yol açabilir.

Antarktika'da Mikroplastik Kirliliği Üzerine İlk Türk Araştırması

Türk bilim insanları, 2018'deki Ulusal Antarktika Bilim Seferi (TAE-II) sırasında Antarktika Yarımadası'nın kuzeybatısında bulunan Güney Shetland Adaları'ndaki Robert Adası'ndan göl tortuları örnekleri topladı. Bu örnekler üzerinde gerçekleştirilen araştırmada, göl sedimentlerinde mikroplastiklerin varlığı ve bu parçacıların şekil, renk, boyut, tür gibi özellikleri incelendi. Sonuçlar, göl tortularında en çok ipliksi formda mikroplastiklerin bulunduğunu gösteriyordu. Göllerin dibindeki tortularda mililitre başına ortalama 28 ile 50 adet mikroplastik saptandı. Toplamda altı farklı renkte mikroplastiğin gözlemlendiği çalışmada, şeffaf ve mavi renkliler en yaygın olanlarıydı. Bu mikroplastiklerin boyutları 0,08 ile 2,12 mm arasında değişiyordu.

Mikroplastiklerin Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) yöntemi ile kimyasal özellikleri analiz edildi ve etilen vinil asetat (EVA), polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP), polimetil metakrilat (PMMA), polietilen (PE), poliüretan (PU) ve poliakrilonitril (PAN) gibi polimerlerin Antarktika'da var olduğu doğruladı. Göl tortularında mikroplastiklerin bulunması, Antarktika ekosisteminin bu kontrolsüz ve yaygın kirliliğe karşı ne kadar hassas olduğunu gözler önüne seriyordu.



Robert Adası'ndaki buzul gölü ve lagünlerinde bulunan mikroplastiklerden bazıları (skala: 500 µm, Prof. Dr. Ülgen Aytan, 2024)

TÜBİTAK tarafından desteklenen "Antarktika Horseshoe Adası'nda Plastik Kirliliği, Kaynakları ve Risk Analizi" başlıklı proje kapsamında, 2024'te gerçekleştirilen 8. Ulusal Antarktika Bilim Seferi (TAE-VIII) sırasında da araştırmalar yürütüldü. Türkiye'nin geçici bilim kampının bulunduğu bölgenin buzul gölü ve lagünlerindeki yüzey suları ve sedimentlerden örnekler toplanarak yapılan analizlerde oldukça yüksek sayıda ve farklı türlerde mikroplastikler tespit edildi. Bu parçacıların ekosistem üzerindeki olası risklerinin değerlendirilme çalışmaları ise devam ediyor. Önceki çalışmadan ve güncel araştırma projesinden elde edilen veriler, Antarktika'daki erişilmesi zor izole bölgelerde tespit edilen mikroplastiklerin dağılımı, özellikleri, kaynakları ve taşınması üzerine daha kapsamlı araştırmalar yapılması gerektiğini ortaya koyuyor. Bu çalışmaların, mikroplastiklerin ekosistem sağlığı üzerinde oluşturduğu risklerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacağı düşünülüyor. ■

Kaynaklar

Rota, E. ve ark., "Macro- and Microplastics in the Antarctic Environment: Ongoing Assessment and Perspectives", *Environments*, cilt 9, sayı 93, 2022. (doi.org/10.3390/environments9070093)
Cunningham ve ark., "High Abundances of Microplastic Pollution in Deep-Sea Sediments: Evidence from Antarctica and the Southern Ocean", *Environmental Science & Technology*, cilt 54, sayı 21, 2020.
Rober Bargagli, "Antarctic Ecosystems: Environmental Contamination, Climate Change, and Human Impact", *Ecological Studies*, cilt 175, Springer Science & Business Media, 2005.
Fleming ve ark., "Impacts of local human activities on the Antarctic environment", *Antarctic Science*, cilt 21, sayı 1, 2009.

Formula 1'in "Yer Uçakları"

Gürkan Caner Birer [*Bilgisayar Mühendisi*

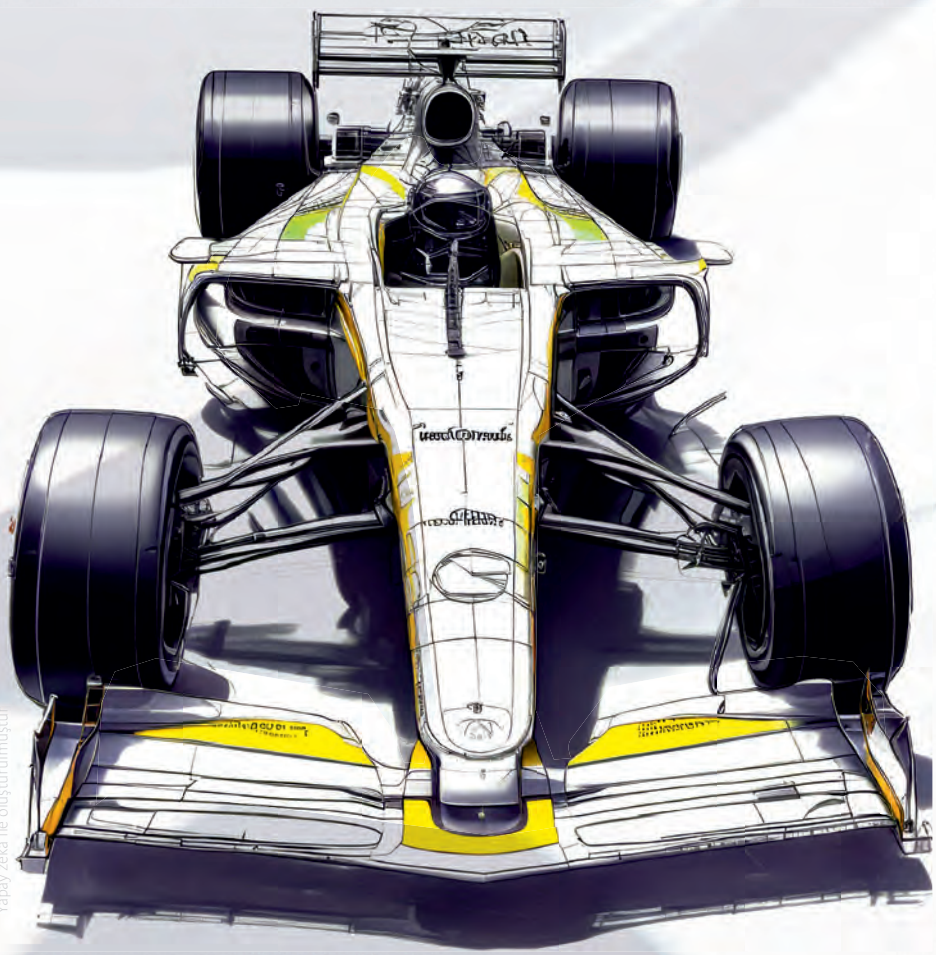
Formula 1, hızın ötesinde bir dünya. Her saniye, her vida, her karar büyük bir anlam taşıyor. Bu spor, bilim ve mühendisliğin dans ettiği bir sahne. Riskler devasa, hata payı ise yok denecek kadar az. İşte bu yüzden Formula 1, saatte 370 kilometre hızla mükemmelliği arayan eşsiz bir gösteri. Âdeta bir hız senfonisi! *Bilim ve Teknik* Mayıs 2025 sayısında yayımlanan yazıda Formula 1'in temellerini ve uygulanmaya başlanan bazı kural değişikliklerini ele almıştık. Serinin bu ayki bölümünde ise özellikle son dönemdeki yeniliklere odaklanacağız. Formula 1, son dönemde de teknolojik yeniliklerin öncüsü olmaya devam ediyor. Araç tasarımından yapay zekâ kullanımına kadar pek çok alanda Formula 1 takımları sınırları zorluyor. Günümüz Formula 1 araçlarını bu kadar özel kılan başlıca teknolojik gelişmeleri gelin hep beraber inceleyelim.

da-kuk / iStock

Jon Cheyrou / Alamy

Araç Tasarımı ve Mühendislik

Formula 1 araçları, dünyanın en gelişmiş kara araçları olarak kabul edilir. Formula 1 araçlarının tasarımı ve mühendisliği alanında birkaç önemli etken öne çıkar. Bunlardan ilki zemin etkisi ve aerodinamik tasarım. Formula 1 araçlarının piste daha iyi tutunmasını sağlayan zemin etkisinin kullanımı 1982'de yasaklanmıştı. 2022'de yeniden uygulanmaya başlanan zemin etkisi prensibi sayesinde araçlara etki eden yere basma kuvvetinin büyük kısmı aracın altından geçen hava akımıyla üretiliyor. 2023 ve 2024 sezonlarında takımlar araç tasarımlarını bu prensipten daha verimli yararlanacak şekilde geliştirdi. 2025 araçları ise aracın tabanındaki venturi adı verilen kanallar ve araç tabanının arka kısmındaki difüzörler (aracın altından geçen havayı hızlandıran aerodinamik bileşen) sayesinde daha az türbülans oluşturarak daha yüksek yere basma kuvveti üretebiliyor. Örneğin bu alanda öncü olan Red Bull takımı, 2022'den sonra mükemmel bir taban aerodinamiği konsepti geliştirmeyi başardı. Diğer takımlar da yeni yan etek tasarımları, farklı sidepod konseptleri deneyerek en dengeli ve verimli aerodinamik tasarımı belirlemeye çalıştı. Araç hareket ederken havanın üzerinde oluşturduğu yükleri belirlemeyi amaçlayan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonları ve rüzgâr tüneli testleri ile her aerodinamik tasarım güncellemesinin araç üzerindeki etkileri belirleniyor. Bu sayede takım bütçeleri daha verimli kullanılabiliyor.



Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Önceki yazımızda maliyetleri kontrol altında tutmak için son yıllarda bazı parçaların tüm takımlar için standartlaştırıldığından bahsetmiştik. Örneğin BBS firması tarafından üretilen 18 inç boyutundaki standart jantlar 2022'de tanıtıldı.

Bunun yanı sıra standart bir merkezi elektronik kontrol birimi (ECU) yıllardır kullanılıyor. 2025'e gelindiğinde vites kutusu iç mekanizmaları ve yakıt pompaları gibi kritik öneme sahip bazı parçalar da tüm takımlara aynı tedarikçi tarafından sağlanıyor. Bu yaklaşım, takımlara güvenilir bileşenler sunarken rekabetin odağının esas olarak aracın aerodinamik ve mekanik tasarımı olmasını sağlıyor. Mühendisler artık enerjilerini süspansiyon geometrisi veya enerji geri kazanım stratejileri gibi gerçekten fark yaratacak alanlara yönlendirebiliyor.

Formula 1, her zaman malzeme bilimi alanında en ileri teknolojilerin test edildiği bir platform oldu. Araç iskeletinin karbon fiber malzemeden yekpare olarak üretildiği, yüksek yük dayanımına sahip ve düşük kütleli karbon fiber monokok şasi, ilk defa 1981 yılında McLaren takımı tarafından Formula 1 araçlarında kullanılmıştı. Günümüzde ise karbon kompozitler daha hafif, daha dayanıklı ve daha sürdürülebilir hâle geliyor. Takımlar, üretimden arta kalan karbon fiber kırpıntılarını geri dönüştürüp aracın bazı diğer parçalarını bu atık malzemeden üretme yöntemleri üzerine araştırmalar yapıyor.

Ayrıca üretim yöntemlerinde de yenilikler hayata geçiriliyor. Örneğin 3D baskı teknolojisi

Sidepod, Formula 1 araçlarının yan tarafında bulunan, motorun soğutulmasının yanı sıra araca etki eden yere basma kuvvetini artıran bölümlerdir.

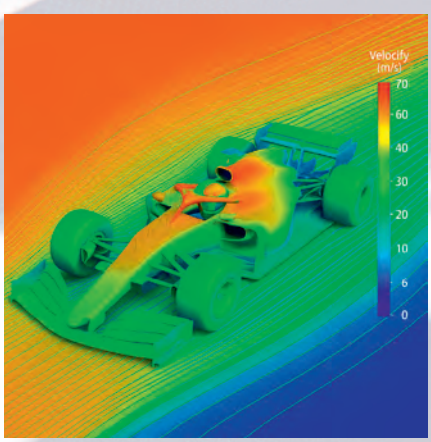
Karbon fiber Formula 1'de yaygın kullanılıyor.

Formula 1 üretim süreçlerinde devrim niteliğinde değişimlere neden oldu. Karmaşık metal parçalar artık günler içinde yazıcıdan basılıp test edilebiliyor. Böylece prototip parça geliştirme süreci muazzam derecede hızlandı. Örneğin bir kanatçık tasarımında küçük bir değişiklik, haftalar yerine günler içinde uygulanabiliyor.

2022 kural değişiklikleri ile aracın süspansiyonunun hidrolojik ve elektronik sistemlerle gerçek zamanlı olarak kontrol edildiği aktif süspansiyon sistemleri yasaklanmıştı. Yüksek performans sağlamasına rağmen karmaşık ve yüksek maliyetli olan bu sistemlerin yerine takımlar, yenilikçi teknolojiler kullanarak pasif süspansiyon sistemleri geliştiriyor. 2023'te bazı ekipler, anti-dive ve anti-squat

olarak isimlendirilen, frenleme ve hızlanma sırasında aracın öne ve arkaya doğru aşırı derecede alçalmasını engelleyen süspansiyon tasarımlarına yöneldi. Hidrolik dolgu elemanları ve inerter olarak isimlendirilen elemanlar kullanarak araç dengesini iyileştirmeye çalıştılar. 2025 sezonunda ise takımlar, bu bilgileri kullanarak daha stabil bir sürüş elde etmek için ön ve arka süspansiyon sisteminin bağlantı noktalarında çok hassas ayarlamalar yapmayı hedefliyor. Daha hassas tepki veren direksiyon sistemleri sayesinde pilotlar, yüksek yere basma kuvveti üreten bu araçları milimetrik hassasiyetle kontrol edebiliyor.

Veri analizi için ileri düzey sistemler kullanılıyor



Formula 1 araçlarında her bir parça ve tasarıma yönelik her yenilik, hız ve güvenilirlik için optimize ediliyor. Araç geliştirme ekipleri sadece mühendislerden değil, veri bilimcilerinden malzeme bilimcilere kadar farklı alanlardan uzmanları barındırıyor.

Veri Analizi ve Yapay Zekâ Entegrasyonu

Son yıllarda Formula 1'de yaşanan önemli ilerlemeler büyük oranda veri analizi ve yapay zekâ kullanımına dayanıyor. Yarış esnasında 300 farklı sensör, aracın her noktasından hız, motor parametreleri, fren sıcaklığı, lastik basıncı, süspansiyon hareketi gibi verileri topluyor. Bu veriler kablosuz telemetri sistemleri ile anlık olarak pistteki takım garajına ve ana takım merkezine aktarılıyor. Öyle ki her bir araç saniyede bir milyonun üzerinde veri gönderebiliyor. Bu devasa veri akışı, yapay zekâ destekli algoritmalarla işlenerek hızlı ve doğru kararlar alabilmeleri için mühendislere destek sağlıyor. Örneğin anlık yakıt tüketimi verileri ve tahmin modelleri sayesinde bir pilotun yarışı bitirmek için ne kadar yakıt tasarrufu yapması gerektiği gerçek zamanlı olarak hesaplanabiliyor.

Bu tür veriler pistlerin dijital ikizlerinin oluşturulmasında da kullanılıyor. Formula 1 takımları, her yarış öncesinde o pistin dijital ikizinde binlerce simülasyon yapıyor. Yapay zekâ, simülasyonlarda sanal pilotların veya rakip pilotların olası sürüşlerinin taklit edilmesinde de kullanılıyor. Böylece gerçek

Bir Formula 1 aracının direksiyonunda sürücünün aracın dinamiklerini değiştirmesini sağlayan birçok ayar düğmesi bulunur

Yapay zeka ile oluşturulmuştur
Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Araç tasarımları rüzgâr tünelinde test ediliyor

Yapay zeka ile oluşturulmuştur

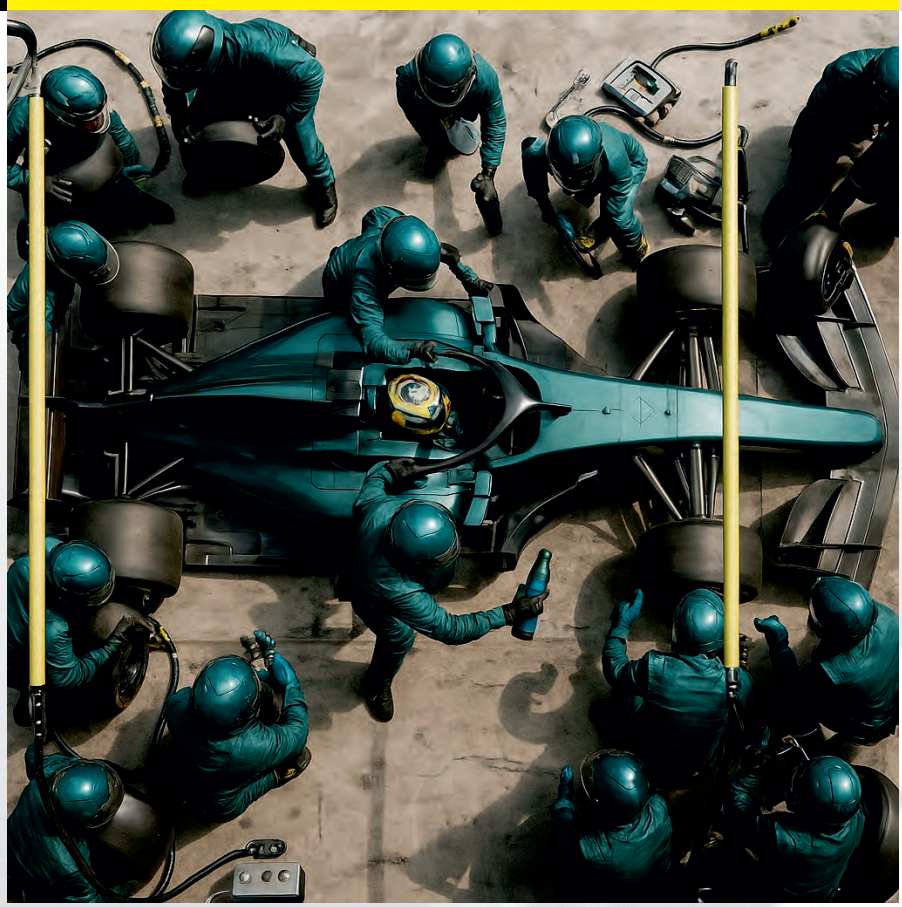
yarıştan önce olasılıklar daha iyi öngörülebiliyor. Ayrıca yapay zekâ, simülatörde farklı senaryolar sunarak pilotun reflekslerini ve karar mekanizmalarını test ediyor.

Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Sürücüler yarış öncesinde simülasyonda defalarca antrenman yapıyor.

Simülasyonlara ek olarak telemetri verilerini analiz eden yapay zekâ sistemleri, her bir pist için en ideal aerodinamik ve mekanik ayarları önerebiliyor. Kanat açısı, süspansiyon sertliği, diferansiyel haritası gibi onlarca parametre en iyi tur zamanını verecek şekilde yapay zekâ tarafından ayarlanabiliyor. Geçmiş yarışlardan elde edilen devasa büyüklükteki verilerin gerçek zamanlı telemetri verileriyle birleşimiyle yapay zekâ sistemleri, yarış esnasında pit stop zamanlaması, lastik aşınma tahmini ve güvenlik aracı senaryoları konusunda daha isabetli önerilerde bulunabiliyor. Rakiplerin olası hamlelerini tahmin eden bu akıllı sistemler, pistteki takım garajında strateji uzmanlarının karar alma süreçlerinde destek sağlıyor.

Ayrıca yapay zekâ teknolojileri; teknolojileri, farklı motor modlarını (örneğin antrenman, sıralama, yarış, güvenlik aracının pistte olduğu zamanlar) ve enerji geri kazanımını ayarlayarak araçların daha az yakıtla daha uzun süre maksimum performans göstermesine yardımcı oluyor. 2025 itibarıyla Uluslararası Otomobil Federasyonu (FIA) da yapay zekâyı hakem kararlarına yardımcı olmak amacıyla kullanmaya yönelik çalışmalar yapıyor. Özellikle pist limitlerinin aşılması gibi nesnel kural ihlallerini otomatik saptamak için kamera ve sensör verilerini analiz eden yapay zekâ destekli sistemler devreye girmeye başladı. Çünkü bazı yarışlarda bu konulardaki anlaşmazlıklar ciddi krizlere neden olabiliyor. Örneğin 2023 Avusturya Grand Prix'inde yüzlerce kural ihlali manuel olarak incelenmiş ve hakemler zamanında karar vermekte güçlük çekmişti. Bu sorunlara hızlı ve etkili bir çözüm bulmak için yarışlar sırasındaki tehlikeli sürüş, yarış içi çarpışma gibi olayların değerlendirilmesinde, geçmişteki binlerce benzer durumda uygulanan prosedürleri analiz ederek hakemlere önerilerde bulunan bir algoritma geliştirilmesi planlanıyor.



Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Formula 1 takımları yapay zekâ destekli veri analizi sayesinde, pistteki gelişmeleri ve olası senaryoları adeta bir satranç ustası gibi önceden ön görebiliyor. Artık insan kararlarının ağırlıklı olduğu sezgiye dayalı yarış kazanma dönemi, yerini veri analizine dayalı yarış kazanma dönemine bırakmış durumda. Yine de insan faktörü tamamen yok sayılamaz. Veriyi yorumlamak ve son kararı vermek hâlâ strateji ekipleri ve pilotların inisiyatifinde. Ancak net olan şu ki yapay zekâ, takımların sessiz bir üyesi olarak Formula 1'in ayrılmaz bir parçası hâline gelmiş durumda.

Pit Stop Teknolojileri

Formula 1'de yarış kazandıran unsurlardan biri de pit stop performansıdır. Yarış sırasında araçların pit alanı olarak isimlendirilen servis bölgesine gelerek birkaç saniye içinde dört lastiğin değiştirildiği ve araçta küçük ayar değişikliklerinin yapıldığı bu operasyonlar, mühendislik ve ekip çalışmasının en çarpıcı uygulamalarından biridir. Son yıllarda pit stop teknolojilerinde de önemli gelişmeler yaşanıyor.

Formula 1'de pit stoplar sırasında takımın mekanik teknikerleri ve uzmanları, dört lastiği birden birkaç saniye içinde değiştiriyor. Ekip üyeleri arasındaki hassas koordinasyon ve kullanılan gelişmiş ekipmanlar sayesinde pit stop süreleri geçmiş yıllara göre önemli oranda kısaldı.

2010'da araçlara yakıt ikmali yapılmasının yasaklanmasından beri pit stoplarda tamamen lastik değişimine odaklanılıyor. Günümüzde başarılı bir ekip, dört lastiği 2 saniyenin altında bir sürede değiştirebiliyor. Hatta en kısa pit stop rekoru ~1,8 saniyeye kadar indi. Pit stop sürelerini bu aralıkta tutabilmek için yaklaşık 20 kişilik bir ekip senkronize şekilde hareket ediyor. Pilot, aracını pit alanında belirlenen sınırların tam içinde durduruyor. Biraz önde veya geride durdurması ciddi bir zaman kaybına neden olabiliyor. Ayrıca kuralların izin verdiği en yüksek hızla pit bölgesine girmesi gerekiyor, eğer fazla yavaşlarsa ciddi zaman kaybedebiliyor. Araç durur durmaz ön ve arka krikocular arabayı kaldırıyor, teknikerler bijon sıkma tabancacıları ile somunları çıkarıyor, lastik taşıyıcılar eski lastikleri çıkarıp yenilerini takıyor, tabancalar ile somunlar sıkılıyor ve teknikerler tüm işlemlerin tamamlandığını onaylamak için ellerini kaldırıyor. Bütün bu süreçler yaklaşık 2 saniyede bitiyor. 2016'dan bu yana pit stopların süresi %40'tan fazla kısaldı. Bu başarının ardında ekiplerin çok sayıda antrenman yapması ve ileri teknoloji ürünü ekipmanların kullanılması var. Lastik somunlarını söküp takmakta kullanılan ve basınçlı

Yapay zeka ile oluşturulmuştur

hava ile çalışan pnömatik bijon tabancaları, pit stop teknolojisinin en kritik bileşenlerinden biri. Yıllar içinde çok gelişen Formula 1 bijon tabancalarının günümüzde kullanılan versiyonları, dakikada 15.000 devir hızla dönebilen mekanizmalara ve 3.000 Nm tork üretebilen motorlara sahip. Hem hafif hem de dayanıklı olmaları için gövdeleri alüminyum alaşımlardan, bazı yapısal bileşenleri ise titanyum ve karbon fiberden üretiliyor. Yeni nesil tabancalarda elektronik kontrollü mekanizmalar var. Örneğin sökme ve takma sırasında tabancanın dönüş yönünü değiştirmek için eskiden bir kolu elle itmek gerekirken şimdi E-Shuttle adlı elektronik bir aktüatör, bunu bir düğme ile anında yapıyor. Bu da saliseler ölçeğinde de olsa zaman kazanılması anlamına geliyor. Dahası bu tabancalarda sensörler ve bu verileri aktaran telemetri sistemleri bulunuyor. Sıkma torkunu ve kilitlenip kilitlenmediğini algılayıp garajdaki takım ekiplerine veri gönderebiliyor. Böylece her pit stop sonrası ekipler, ekipmanların performansını analiz edip geliştirebiliyor. Bu sayede pit stoplar sadece daha hızlı değil, aynı zamanda daha tutarlı ve güvenli

Modern Formula 1 bijon tabancaları, üzerlerindeki sensörler ve elektronik kontrol üniteleri sayesinde, her pit stopta milisaniye ölçeğinde zaman kazandırarak pitstop sürelerinin kısaltılmasına katkıda bulunuyor.

hâle geldi. Yani takımların hedefi tek seferlik en hızlı pit stopu yapmak değil, her pit stopu çok hızlı yapmak.

Son yıllarda mekanik ekipmanlardaki yeniliklerin yanı sıra pit ekibinin koordinasyonunu sağlayan sistemler de gelişti. Eskiden pit stop tamamlandığında aracın hareket etmesi için "lolipop" adı verilen tabelalar aracılığıyla kalkış onayı manuel olarak veriliyordu. Günümüzde ise takımlar, her lastik için değiştirme işleminin tamamlandığını sensörlerle algılayan "yeşil ışık" sistemleri kullanıyor. Dört lastikten de sinyal geldiğinde araç otomatik olarak serbest bırakılıyor. Ayrıca 2021'de FIA, güvenlik açısından pit stoplarda kullanılan teknolojilerin insanların reaksiyon süresinden daha hızlı tepki vermesini engellemek amacıyla yeni kurallar getirdi. Takımlar pit stop antrenmanlarında artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) teknolojilerini de kullanıyor. Örneğin mekanikerler, sanal gerçeklik gözlükleri ile sanal ortamda pit stop tatbikatları yaparak kas hafızalarını geliştiriyor.

Pit stoplarda sadece lastikler değiştirilmiyor, gerektiğinde araçta küçük onarımlar ve ayar değişiklikleri de yapılabiliyor. 2023'te tanıtılan bazı parçaların modüler olması sayesinde yarışta hasar alan ön kanat uç plakası veya burun konisi gibi parçalar pit stoplar sırasında saniyeler içinde değiştirilebiliyor. Ayrıca küçük ayar değişiklikleri, örneğin ön kanat

açısı ayarları yine pit stop sırasında saniyeler içinde yapılabiliyor. Tüm bu dar kapsamlı işlemler, pit stop süresini önemli ölçüde artırmadan gerçekleştiriliyor.

Bu teknolojik ve operasyonel gelişmeler sonucunda pit stoplar, Formula 1 izleyicileri için yarışların en ilgi çekici kısımlarından biri hâline geldi. Milisaniyelerin hesaba katıldığı bu süreçte kazanılan veya kaybedilen zaman, araçların yarış sırasındaki sıralamalarını yükseltmelerine ya da mevcut pozisyonlarını kaybetmelerine neden olabiliyor.

Güvenlik İyileştirmeleri

Formula 1, geçmişte yaşanan kazalardan ve teknik sorunlardan alınan dersler sayesinde bugün çok daha güvenli bir spor hâline geldi. Her ciddi kazadan sonra güvenlik standartları gözden geçirilip tespit edilen risklerin azaltılması amacıyla kurallarda, araçlarda ve pistlerde yenilikler yapılıyor. Son dönemde de güvenlik ile ilgili teknolojilerinde önemli ilerlemeler kaydedildi.

Halo adı verilen kavisli kokpit koruma çerçevesi, 2018'den itibaren Formula 1 araçlarına eklendi. Titanyum alaşımdan üretilen bu çerçeve, kokpitteki sürücülerin kafasını çarpışmalar sırasında araçlardan kopan tehlikeli parçalardan ve aracın üzerine devrilen diğer araçlardan korumayı amaçlıyor.

Üç noktadan şasiye bağlı olan titanyum yapı, sürücünün kaskının etrafında bir koruma çerçevesi oluşturuyor. Kullanılmaya başlandığı ilk zamanlarda araçların estetiğini bozduğu ve sürücülerin görüş alanını daralttığı tartışmalarına neden olsa da halo sisteminin önemi kısa sürede anlaşıldı. Özellikle 2020 Bahreyn Gran Prix'inde Haas takımından Romain Grosjean'ın kazasında ve 2022 İngiltere Grand Prix'inde Alfa Romeo takımından Zhou Guanyu'nun takla atan aracında bu sistem sürücülerin hayatını kurtardı. Titanyumdan üretilen çerçeve yaklaşık 12 tonluk bir yüke dayanabiliyor. Ayrıca diğer motor sporlarında da halo veya benzeri yapıları kullanılmaya başlandı.

Formula 1 araçlarında sürücünün içinde bulunduğu kokpit karbon fiber monokok şasiyle bütünleşik hâldedir. Aracın üst kısmında, kokpitin gerisinde yer alan devrilme halkası, araç takla attığında sürücünün başının yere veya başka bir yüzeye doğrudan temas etmesini engeller. Bu kısım yıllar içerisinde sürekli güçlendirilse de 2022 İngiltere Grand Prix'indeki kazada Zhou Guanyu'nun aracının devrilme halkası kırıldı. Bu kazadan sonra FIA, 2023 için tasarım kurallarını sıkılaştırdı. Yere çarptığında kopmaması için sivri tasarım, yuvarlatılmış bir tasarımla değiştirildi. Ayrıca devrilme halkasına yük uygulayarak gerçekleştirilen homologasyon testleri sadece dikey yönde değil, farklı açılarla uygulanmaya başlandı ve testlerde uygulanan kuvvetin büyüklüğü artırıldı. Önden alınan darbelere karşı ek yük testleri getirildi. Bu sayede araç takla attığında veya ters bir şekilde sürüklendiğinde bile pilotun başının etrafındaki kafesin sağlam kalması garanti altına alındı. Günümüzde Formula 1 araçlarının şasileri o kadar dayanıklı ki kazalarda araçlar parçalanırken pilotun bulunduğu kokpit bölümü bütün hâlde kalıyor.

Halo bulunmayan eski F1 aracı ve modern F1 aracı

Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Güvenlik sadece aracın dayanıklılığı ile değil, yangın gibi risklere karşı alınan önlemlerle de artırılıyor. Pilotların tulumları, tulumların içine giydikleri kıyafetleri ve eldivenleri ileri teknoloji Nomex kumaşlardan üretiliyor ve 800 °C'ye ulaşan yüksek sıcaklıklara 10 saniyeden uzun dayanabilecek şekilde test ediliyor. 2020'deki Grosjean'ın kazasıyla birlikte pilot tulumlarının alev direnci süresi 20 saniyeye çıkarıldı. Eldiven ve ayakkabılara da aynı standardın uygulanması zorunlu kılındı.

Ayrıca içinde esnek bir sensör barındıran biyometrik eldivenler pilotun nabız, oksijen satürasyonu gibi hayati verilerini gerçek zamanlı olarak pistte bulunan sağlık ekibine iletiyor. Olası bir kaza anında kurtarma ekipleri, pilotun bilincinin kapalı olup olmadığını, kalp atışı hızını takip edebiliyor. Kasklar da sürekli geliştiriliyor. FIA'nın 2019'da yürürlüğe koyduğu yeni nesil kask standardı ile vizör açıklığı küçültüldü ve kaskı oluşturan malzeme katmanları güçlendirildi. 2009 Macaristan Grand Prix'inde Ferrari takımından Felipe Massa'nın kafasına, öndeki bir araçtan kopan, süspansiyon sistemine bağlı 800 gramlık bir yay parçasının saatte yaklaşık 250 km hızla çarpmasından sonra kaskların vizörlerinin yüzeyine bir güçlendirme şeridi eklendi ve yüksek hızda çarpan küçük parçalara karşı dayanıklı olacak şekilde kaskın darbe dayanımı artırıldı.

Sanal güvenlik aracı (VSC) devredeyken sürücülerin, pistteki belirli referans noktalarına ulaşırken önceden belirlenmiş zaman sınırını aşmamaları gerekir. Ayrıca araçların birbirlerini geçmeleri yasaktır.

XPB Images Ltd / Alamy

Yapay zeka ile oluşturulmuştur

Araçların ön, arka ve yanlarında bulunan ve çarpışma kutusu olarak isimlendirilen yapılar Formula 1'deki en önemli güvenlik elemanlarından biridir. Arı peteklerine benzeyen altıgen yapılardan oluşan karbon fiber malzemeler, belirli bir darbede kontrollü şekilde ezilerek enerjiyi sönümler ve darbenin şasiye iletilmesini engeller. FIA, her sezon ön ve arka darbe testlerinin standartlarını yükseltiyor. Örneğin 2025 sezonunda araçların burun konisi %15 daha fazla enerjiyi sönümleyebiliyor. Ayrıca tekerleklerin kazada kopmasını önleyen çelik halatlı emniyet kayışları artık her teker için ikişer adet takılıyor ve çok daha sağlam. Bu sayede 2010'lu yıllarda sıkça karşılaşılan, kazalar sırasında tekerleklerin fırlaması durumu neredeyse son buldu.

Pist güvenlik ekipmanları da her geçen yıl gelişiyor. Eski lastik bariyerlerin yerine geçen TechPro bariyerler, darbeyi daha iyi emiyor. Araçlara etki eden G kuvvetinin yüksek olduğu kazalarda bariyerler ve araç içi sensörler otomatik olarak yarış kontrol merkezine sinyal gönderiyor.

Formula 1 yönetimi, yarış esnasında riskli durumları azaltmak için sanal güvenlik aracı (VSC) ve tamamen otonom güvenlik aracı yazılımları üzerinde çalışıyor. 2015 Japonya Grand Prix'inde Marussia takımından Jules Bianchi'nin kazasından sonra devreye giren sanal güvenlik aracı uygulaması, pistte çift sarı bayrakla gösterilen tehlike durumlarında tüm araçları otomatik olarak yavaşlatıyor.

2025'te VSC'nin daha da hassas çalışması, pilotların belirlenen yavaşlama oranını tam olarak tutturması için otomatik hız sınırlama sistemlerine benzeyen bir uygulama test ediliyor.

Araçların yarış pistinden ayrılıp pit stop alanına ulaşmak için kullandıkları pit şeridinde hareket ederken ya da güvenlik aracının devrede olduğu durumlarda sürücülerin hız sınırına uyup uymadıkları GPS ve sensör verileriyle elektronik olarak denetleniyor. Hız limitleri ihlal edildiğinde otomatik olarak tespit ediliyor ve sürücülere ceza uygulanabiliyor.

Güvenlik önlemlerindeki bu yenilikler sayesinde Formula 1, tarihin en güvenli dönemini yaşıyor. Yüksek hızlarda yarışmanın doğası nedeniyle risk tamamen sıfıra indirilemese de her yeni teknoloji ve kural, riskleri kabul edilebilir en düşük seviyeye çekmeyi hedefliyor. "Önce güvenlik", modern Formula 1'in temel prensibi hâline gelmiş durumda.

Yakıt ve Enerji Verimliliği

Son yıllarda Formula 1'in teknolojik gelişiminde rolü olan en dikkat çekici alanlarından biri de yakıt verimliliği ve yönetimi oldu. Hibrit motorların 2014'te kullanılmasıyla Formula 1'de sadece hız rekorları değil verimlilik rekorları da kırılmaya başladı.

Formula 1 araçlarında kullanılan mevcut güç üniteleri, içten yanmalı motorlar ile elektrik motorlarını birleştiren hibrit bir yapıdadır. 1,6 litre V6 turbo motorlarda yakılan yakıtın enerjiye dönüştürülme verimi %50'nin üzerine çıkarılarak termal verimlilik konusunda daha önce erişilemeyen bir verimlilik değerine ulaşıldı. Geçmişte kullanılan V8 motorlarında bu oran %30 civarındaydı. Günlük hayatta kullandığımız normal araçların motorlarında ise %25-30 civarındadır. Yüksek verimlilik aynı zamanda daha az yakıt tüketimi ve aynı miktarda yakıtla daha fazla güç üretilmesi anlamına geliyor. Nitekim bu hibrit motorlar yaklaşık 1.000 beygir güç üretebilirken bunu 10 yıl önceki muadillerinden çok daha az yakıtla yapabiliyor.

Formula 1 aracının yakıt deposu

Formula 1'de günümüzde kullanılan hibrit motorlarda iki temel enerji geri kazanım sistemi bulunuyor: MGU-K ünitesi (kinetik-motor jeneratör ünitesi), frenleme sırasında aracın kinetik enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemdir. MGU-H (ısı-motor jeneratör ünitesi) ise egzoz gazındaki ısı enerjisini elektrik enerjisine çevirir. Bu sistemler, normalde işe dönüştürülemeyen atık enerjinin elektrik enerjisi şeklinde depolanmasını ve gerektiğinde tekrar kullanılmasını sağlar. Böylece Formula 1 araçlarının enerji verimliliğini artırır.

Araç, her fren yaptığında geri kazanılan enerji aküde depolanıyor ve bu enerji düzlüklerde araca ekstra güç sağlayacak şekilde kullanılabiliyor. 2025 sezonunda kullanılan MGU-K sistemleri bir turda 4 Mj enerji sağlayabiliyor yani 33 saniye boyunca yaklaşık 160 beygir güç üretebiliyor. MGU-H ünitesi ise ısı enerjisini elektriğe çevirip doğrudan MGU-K'ye aktarabiliyor. Aracın krank miline bağlı olan MGU-K ünitesi de ihtiyaç olduğunda elektrik enerjisini tekrar hareket enerjisine dönüştürerek araca ekstra güç sağlayabiliyor. Formula 1 mühendisleri bu sistemleri yönetmek için karmaşık yazılımlar geliştiriyor.

Yarışlarda araçların depolayabileceği yakıt kapasitesinin 110 kg olarak sınırlandırılmasından sonra takımların yakıtı en verimli şekilde kullanmaları zorunlu hâle geldi. Özellikle virajlardan önce sürücülerin ayaklarını gazdan erken çekip frenleme noktasına kadar aracın süzülerek ilerlemesini sağlamaları gibi teknikler hâlen uygulansa da yakıt verimliliğini arttıran çözümler sayesinde bunlara daha az ihtiyaç duyuluyor. Ayrıca yakıt akış sensörleri, takımların motora kurallarda izin verilenden

daha fazla yakıt göndererek kural dışı bir şekilde ekstra güç elde etmesini önlüyor. 2025 sezonundaki araçların kütlesi biraz artsa da motorlar o denli verimli ki pek çok yarışta araçlar 110 kg'lık depo kapasitelerini tam olarak doldurmadan yarışa başlayabiliyor. Fazla yakıt aracın kütlesinin artmasına neden olarak tur zamanlarını olumsuz etkilerken, az yakıtla başlamak da yakıtın yarış sonuna kadar yeterli olmaması riskini doğuruyor. Takımlar, simülasyonlarla her pist için optimum yakıt yükünü belirliyor.

Formula 1'de 2014'ten beri yakıt karışımlarında yenilik yapıyor. Bu amaçla 2022'den itibaren araçlarda kullanılan yakıtın %10'unun sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen etanoldan oluşması (E10 yakıt) zorunluluğu getirildi. 2025 sezonunda da hâlen E10 yakıt kullanılıyor. Ancak yakıt üreten şirketler sentetik e-yakıtlar üzerinde çalışmalarını sürdürüyor. Bu yakıtlar, fosil yakıtlar kullanılmadan sentetik olarak üretiliyor. Ayrıca üretim ve tüketim sürçelerinde soğurulan ve atmosfere salınan karbondioksit miktarı birbirine eşit olacak şekilde üretilecek bu yakıtların karbon nötr olması hedefleniyor. 2025 sezonunda bazı antrenman seanslarında veya özel testlerde bu yeni yakıt formülünün test edilebileceği tahmin ediliyor. Amaç, performans kaybı olmadan geleneksel yakıtların yerine geçebilecek bir yakıt türü olduğunu kanıtlamak. Eğer başarıya ulaşırsa bu, Formula 1'in ötesinde normal araçlar ve uçaklar için yakıt teknolojilerinde bir dönüm noktası olabilir. Bu yüzden Formula 1'de enerji verimliliği konusunda yapılan çalışmalar, yakıt dönüşümünü de kapsıyor.

Sonuç olarak Formula 1'de "daha hızlı" olmak kadar "en verimli" olmak da önemli hâle geldi. Araçlar, maksimum performanslarına ulaşmak için sadece güçlü değil, aynı zamanda akıllıca tasarlanmış sistemlere güveniyor. Formula 1 araçları için geliştirilen bu teknolojiler, günlük hayatta kullandığımız araçların da gelişimine katkıda bulunuyor. Elektrikli ve içten yanmalı motorların birlikte kullanıldığı hibrit araç teknolojileri, enerji geri kazanım sistemleri ve yakıt verimlilik yöntemlerinin geliştirilmesine Formula 1 öncülük etti. ■

Kaynaklar

- Formula1.com – "*7 kural değişikliği (2025) gerektiğini bilmelisiniz*" https://bit.ly/41PjIVg
- Formula1.com – "*2025 motor ve şanzıman ceza rehberi*" (2025) https://bit.ly/41DYcS6
- PlanetF1.com – "*Adrian Newey bütçe sınırı etkileri*" https://bit.ly/3Dvt5jJ
- ViperPerformance Blog – "*F1 2025 Aerodinamik Düzenlemeler*" https://bit.ly/4hXVZas
- Autosport.com – "*F1 yakıt kullanımı ve verimlilik*" https://bit.ly/4ib0z5W
- Ultralytics Blog – "*F1'de Yapay Zekâ Pit Stopları*" https://bit.ly/4idsDWj
- GPBlog.com – "*FIA yapay zekâ kararı (2025-26)*" https://bit.ly/4ivMq30
- Popular Mechanics – "*F1 Bijon Tabancalarının Sırrı*" https://bit.ly/42qKHqs
- PlanetF1.com – "*Roll-hoop güvenlik değişiklikleri*" https://bit.ly/3FeJLwp
- Motorsport.com – "*Biyometrik eldivenler ve güvenlik ekipmanları*" https://bit.ly/4hRMEAN

Ingram Publishing / Alamy

Tekno-Yaşam

Gürkan Caner Birer [*teknoyasam@tubitak.gov.tr*

Sodyum İyon Pil Teknolojisine Sahip İlk Powerbank

Elecom'un taşınabilir bataryası, lityum iyon bataryaların 500-1.000 şarj döngüsüne kıyasla 5.000 kez tam kapasiteyle şarj edilip sağlıklı bir şekilde boşaltılabilecek kadar uzun ömürlü.

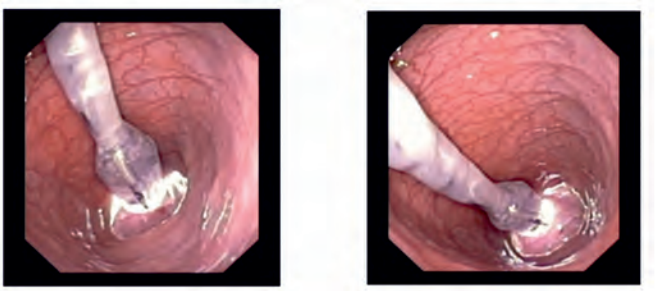
Japon teknoloji şirketi Elecom, dünyanın ilk sodyum iyon teknolojisine sahip taşınabilir bataryasını (powerbank) tanıttı. DE-C55L-9000 olarak adlandırılan bu cihaz, lityum iyon bataryalardan farklı olarak, yeryüzünde nadir bulunan bir element olan lityum yerine bolca bulunan sodyum kullanıyor. 9.000 mAh kapasiteli bu taşınabilir batarya, 45W USB Tip-C ve 18W Tip-A bağlantı noktalarıyla donatılmış. Sodyum iyon bataryalar, -34 °C ile 50 °C arasındaki sıcaklıklarda güvenle çalışabiliyor ve yangın riski geleneksel lityum iyon bataryalara göre çok daha düşük.

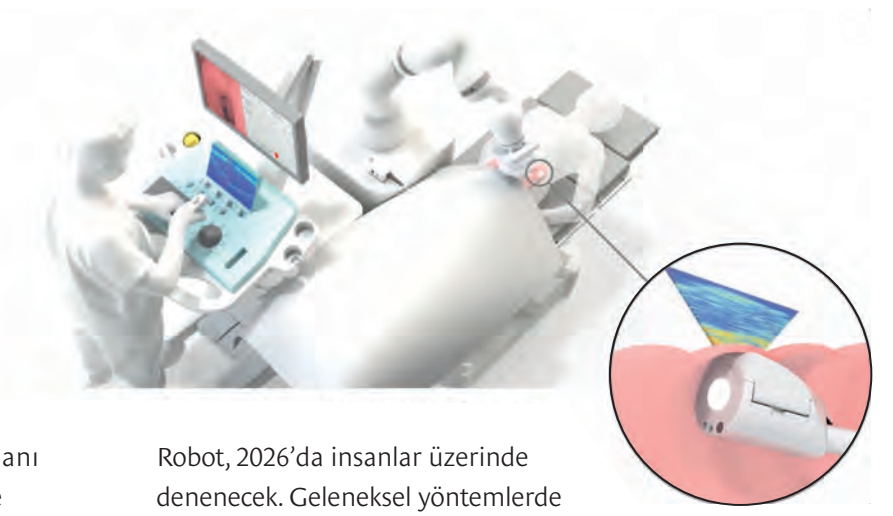
Bu yenilikçi teknolojinin bazı dezavantajları da var. Benzer kapasiteli lityum iyon bataryalardan daha pahalı ve ağır. Bunun sebebi sodyum iyon hücrelerin enerji yoğunluğunun daha düşük olması. 1970'lerden beri geliştirilen bu teknoloji, gelecekte telefonlardan arabalara kadar birçok alanda kullanılabilecek yeni nesil batarya teknolojilerinin öncüsü olarak görülüyor.

https://bit.ly/sodyum-ion

Sanal Biyopsi Yapan Minyatür Robot

Leeds Üniversitesi liderliğindeki araştırmacılar, vücudun derinliklerinde üç boyutlu taramalar yapabilen ve erken kanser tespitini mümkün kılan minyatür bir manyetik robot geliştirdi. Bu teknoloji ile ilk kez mide ve bağırsak gibi sindirim sistemi kanallarının içinden yüksek çözünürlüklü üç boyutlu ultrason görüntülerinin elde edilmesi mümkün oldu. Sistemin merkezinde "oloid" adı verilen üç boyutlu bir şekil bulunuyor. Oloid şeklinin manyetik esnek endoskobun (MFE) yapısal tasarımında kullanılması sayesinde, robotun vücut içinde hassas bir şekilde yönlendirilmesi ve görüntüleme yapması mümkün oldu.





Robot, sadece 21 mm çapında yani bir bozuk para büyüklüğünde ve üç boyutlu yazıcı kullanılarak reçineden üretilmiş. İçine yerleştirilen yüksek frekanslı görüntüleme cihazı sayesinde mikro ölçekte yüksek çözünürlüklü üç boyutlu görüntüler oluşturabilen robot, doku katmanı seviyesinde ayrıntıların görüntülenmesine olanak tanıyor.

Bu teknoloji "sanal biyopsi" olarak adlandırılan, cerrahi müdahale gerektirmeyen ve anında teşhis yapmasına olanak sağlayan taramaları mümkün kılıyor. Doktorlar fiziksel biyopsi yapmadan lezyonları tespit edebiliyor, evrelendirebiliyor ve hatta bazı durumlarda tedavi seçenekleri önerebiliyor.

Manyetik özellikteki robot, dışarıdan kontrol edilen bir manyetik alan ile hareket ettiriliyor. Manyetik alan, vücut dokularına zarar vermeden küçük cerrahi robotların uzaktan yönlendirilmesine olanak tanıyor.

Robot, 2026'da insanlar üzerinde denenecek. Geleneksel yöntemlerde doku örneği alınıp laboratuvara gönderildikten sonra 3 hafta içinde sonuçlar görünebiliyorken bu robot sayesinde doktorlar, tek seansta hem teşhis yapma hem de tedavi süreçlerini belirleme imkânına kavuşuyor.

https://bit.ly/3RHcGfA

Robotlar Maratona Katıldı

Çin'in başkenti Pekin'de 19 Nisan 2025'te düzenlenen Yizhuang yarı maratonunda 21 insansı robot, binlerce insanla yarıştı. Farklı boy ve ölçülerde tasarlanan robotlar arasında 120 cm'den kısa olanlar olduğu gibi 1,8 metre boyunda olanlar da vardı. Yarışı X-Humanoid firmasının geliştirdiği Tien Kung Ultra (Tiangong Ultra) adlı robot 2 saat 40 dakikalık derecesiyle kazandı. İkinci sırayı 3 saat 37 dakikayla Noetix Robotics'in N2 robotu, üçüncü sırayı ise 4 saat 50 dakikayla DroidUP'ın X02 robotu aldı. Yarışa katılan 21 robotun sadece 6'sı maratonu tamamlayabildi, insansı robotların bazısı start çizgisinde düştü veya birkaç metre koştuktan sonra bariyerlere çarptı. Kazanan robotun yarış boyunca üç kez pili değiştirildi. Robotlar güvenlik amacıyla ayrı bir şeritte teknik ekiple birlikte koştu. Diğer taraftan Japonya'nın önde gelen robotik şirketlerinden Kawasaki Robotics, aslan modelinde tasarlanmış, üzerine binilebilen bir robot tanıttı. Bu dört ayaklı robotik araç, bir insanı taşıyabilecek özellikte geliştirilmiş, her türlü arazi koşulunda kullanılabilen yenilikçi bir platform olarak dikkat çekiyor.

Henüz konsept aşamasında olan "robotik aslan", insanların gelecekte mekanik hayvanlar üzerinde seyahat edebileceği fikrinin gerçeğe dönüşmesini sağlayabilir. Kawasaki, bu tür bir makinenin 2050'ye kadar kullanıma sunulabileceğini öngörüyor.

https://reut.rs/4jC33el

Yüz Tanıma Teknolojisi ile Duygusal Durum Tespiti

VectorStory / iStock

İspanyol teknoloji girişimi Neurologyca tarafından geliştirilen "Kopernica" adlı sistem göz hareketleri, ses, yüz ifadeleri ve diğer biyometrik verileri analiz ederek kalabalık ortamlarda insanların mutluluk, stres veya kafa karışıklığı gibi duygusal ve bilişsel durumlarını tespit edebiliyor. Sistem, basit yüz tanıma teknolojilerinin ötesine geçerek doğal dil işleme, bilgisayarla görme gibi gelişmiş algoritmalarıyla yüz ifadelerinden mikro mimiklere, göz hareketlerinden duruş biçimlerine kadar çeşitli biyometrik verileri değerlendirerek kullanıcıların ruhsal sağlığını takip ediyor. Bu sayede tüketici deneyimini analiz eden pazarlama ekipleri, müşterilerin ürünlere karşı duygusal tepkilerini ölçebilirken etkinlik organizatörleri, katılımcıların deneyimleriyle ilgili geri bildirimleri toplayabiliyor. Sağlık sektöründe, toplu ortamlarda stres seviyelerinin ölçülmesi veya kaygı bozukluğu belirtilerinin erken tespiti mümkün olabiliyor. Eğitim alanında ise öğrencilerin derse olan ilgisini ve anlama düzeylerini gerçek zamanlı olarak ölçerek öğretmenlerin öğretim yöntemlerini ders sırasında anlık olarak değiştirmesine imkân veriyor.

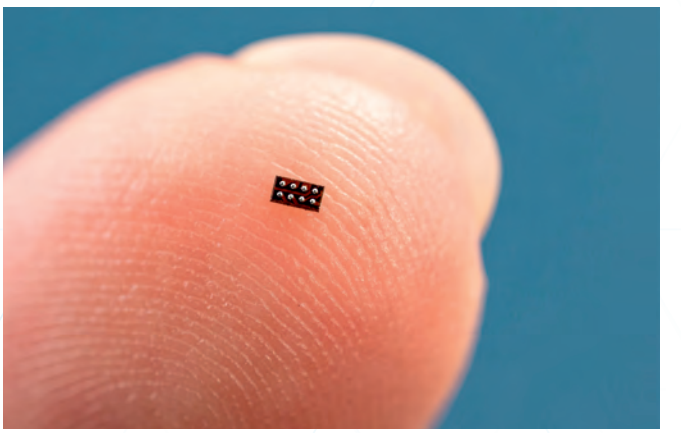
Öte yandan bu tür duygu analizi teknolojilerinin yaygınlaşması, özel hayatın gizliliği ve veri güvenliği açısından önemli etik sorunlar da doğurabilir. Sadece fiziksel olarak nerede bulunduğunuzun değil, bulunduğunuz ortamda nasıl hissettiğinizin de kayıt altına alınması, veri mahremiyeti konusunda endişelere neden oluyor. Sistemin topladığı verilerin nasıl korunacağı, kimlerle paylaşılacağı ve hangi amaçlarla kullanılacağı gibi konuların, bu teknolojinin yaygınlaşmasıyla beraber daha kapsamlı ele alınması gerekiyor.

https://www.kopernica.ai

Mikrodenetleyici

Texas Instruments (TI), yalnızca 1,38 mm² boyutunda, dünyanın en küçük mikrodenetleyicisini tanıttı. Bugüne kadar geliştirilen en küçük mikrodenetleyicilerin büyüklüğü ise 4-5 mm² civarındaydı. TI'ın yeni çipi, mikrodenetleyicilerin boyutlarını küçültmeye yönelik çalışmalar yapan STMicroelectronics, Microchip Technology ve NXP Semiconductor gibi şirketlerin mevcut ürünlerini geride bıraktı.

Bu tür ultra-kompakt mikrodenetleyiciler sayesinde sağlık verilerini izleme sistemleri, daha küçük cerrahi müdahaleler ile vücuda yerleştirilebilir. Akıllı ev teknolojileri, dışarıdan fark edilmeyecek şekilde ev eşyalarına entegre edilebilir. Giyilebilir teknoloji ürünleri hem daha küçük hem de daha uzun pil ömrüne sahip olabilir. Çalışırken sadece 11 mikroamper, bekleme modunda ise 350 nanoamper akım çeken bu mikrodenetleyiciler, düşük enerji ihtiyaçları sayesinde pil ile çalışan cihazlar için önemli bir avantaj sunuyor.



Böylece sensörlerden toplanan verileri işlemek için kullanılan cihazlar, aylar veya yıllar boyunca pil değişimi gerektirmeden çalışabilir. TI, 2025'in ikinci yarısında çipin seri üretimine geçileceğini ve elektronik cihaz üreticilerinin kullanımına sunulacağını açıkladı.

https://bit.ly/minyatür-islemci

Otomatik Odaklanan Gözlük

Finlandiyalı teknoloji şirketi IXI, göz hareketlerinizi izleyerek anında odak değiştiren akıllı bir gözlük geliştirdi. Estetik tasarımlarıyla da dikkat çeken bu gözlükler, progresif gözlüklerin (yakın, orta ve uzak mesafeleri tek bir mercek ile görmeye imkân veren gözlükler) görüş alanının dar olması ve merceğin kenarlarında oluşan görüntü bozulmaları gibi sorunlarını barındırmıyor.
Çift odaklı mercekler 1700'lerde icat edildi, fotokromik yani ışığa duyarlı kararma özelliğine sahip lensler ise 1990'larda piyasaya sürüldü. Ancak bunların dışında göz bozukluklarını düzeltmeye yönelik mercek teknolojisinde önemli bir yenilik yaşanmadı. IXI'nin akıllı gözlüğü ise kullanıcının göz hareketlerini takip eden ileri teknoloji ürünü sensörler kullanıyor. Akıllı mercekler, kullanıcının bakmakta olduğu mesafeyi algılayıp anlık odak ayarı yaparak kullanıcının her durumda net görmesine yardımcı oluyor.

Genellikle bu tür teknolojik ürünler büyük ve ağır olması nedeniyle rahatsız edici bir tasarıma sahipken IXI gözlükleri normal bir gözlük gibi görünüyor. Küresel ölçekte ortalama yaşam süresinin yükselmesine bağlı olarak presbiyopi yani yaşa bağlı yakını görememe bozukluğu vakalarının sayısındaki artış düşünüldüğünde bu teknoloji, milyonlarca insanın yaşam kalitesini artırma potansiyeline sahip.

https://bit.ly/oto-gozluk

Ay'a Dönmek Neden Bu Kadar Zor?

Alp Akoğlu [Fizikçi ve Bilim İletişimi Uzmanı

20 Temmuz 1969'da Apollo 11 uzay aracının kumandanı Neil Armstrong'un Ay yüzeyine adımını atarken söylediği söz tarihe geçmişti: "Bir insan için küçük, insanlık için dev bir adım." Bu adım yeryüzünden 384 bin kilometre uzakta atılmıştı ve ardında olağanüstü bir irade, cesaret, bilim ve teknoloji vardı. Ardından gerçekleştirilen diğer Apollo görevleriyle kısa süre içinde toplam 12 insan Ay'a ayak bastı. Ancak son Ay yolculuğunun gerçekleştirildiği 1972 yılından bu yana Ay'a bir daha insan gönderilmedi. Çok yakında insanlı Ay görevleri yeniden başlayacak. Bundan 56 yıl önce Ay'a gitmeyi başardıysak bu, günümüzün teknolojisiyle ve uzay çalışmaları birikimiyle ne kadar zor olabilir ki?

klagyivik / iStock

NASA

Artemis I görevinin yirminci gününde, 5 Aralık 2022'de Orion kapsülünden çekilen Ay fotoğrafı.

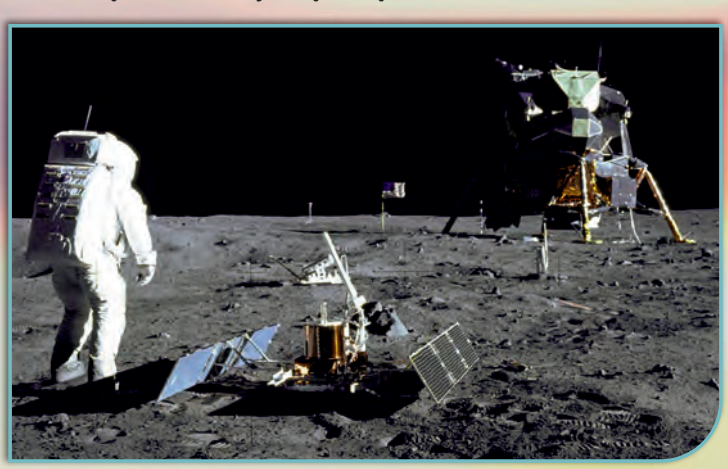
NASA

Henüz Ay'a ilk inişin gerçekleşmediği 1968 yılında Apollo 8 astronotu William Anders'in Ay yörüngesinden çektiği efsaneleşmiş "Ay'dan Dünya" fotoğrafı.

Bugünden geriye baktığımızda Ay'a 1960'lı yıllarda insan gönderilmiş olması, inanılması zor bir başarı gibi görünüyor. O dönemde ne modern bilgisayarlar ne gelişmiş simülasyon yazılımları ne de yıllarca test edilmiş uzay giysileri vardı. Öyle ki akıllı telefonlarımızın işlem gücü, o dönemki uzay araçlarında kullanılan bilgisayarlardan çok daha fazla. Yine de ABD, Sovyetler Birliği ile girdiği uzay yarışında büyük bir adım atarak ve belki de büyük riskleri göze alarak 1969'da Ay'ın yüzeyine insan indirmeyi başardı. Peki bu nasıl mümkün oldu?

Bu sorunun yanıtı, teknolojik üstünlük kadar devlet yönetiminin bu konudaki kararlılığı ve bu işe ayrılan devasa bütçelerde gizliydi. ABD, Apollo programına bugünün parasıyla yaklaşık 280 milyar dolar harcadı. NASA'nın 1960'ların sonundaki bütçesi, ülke bütçesinin yaklaşık %4'üne denk geliyordu. Bugünkü oran yalnızca %0,5 civarında ki bu bütçe, çok çeşitli uzay görevleri arasında paylaştırılıyor. O dönemde bu dev kaynak, Ay'a gitmek için gereken tüm bilimsel ve teknolojik atılımların hızla yapılmasını sağladı.

Her ne kadar olağanüstü bir bütçe ayrılsa da bu durum görevin zorluklarını ortadan kaldırmıyordu. Ay'a ulaşmak, yüzeyine yumuşak iniş yapmak ve ardından güvenli şekilde geri dönmek, büyük bir mühendislik çabasının yanı sıra risk yönetimi de gerektiriyordu. Ay'a iniş sırasında iniş aracının motorlarında oluşabilecek herhangi bir arıza ya da hesaplamalardaki en küçük bir hata, görevin başarısızlıkla sonuçlanmasına neden olabilirdi. Nitekim öngörülmeyen bazı durumlarla karşılaştılar. Apollo 11'in inişi sırasında iniş bölgesi olarak belirlenen alanın dev kayalarla dolu bir krater olduğunun son anda anlaşılması nedeniyle Neil Armstrong kontrolü devralmış ve aracı planlanan alanın dışına indirmeyi başarmıştı.



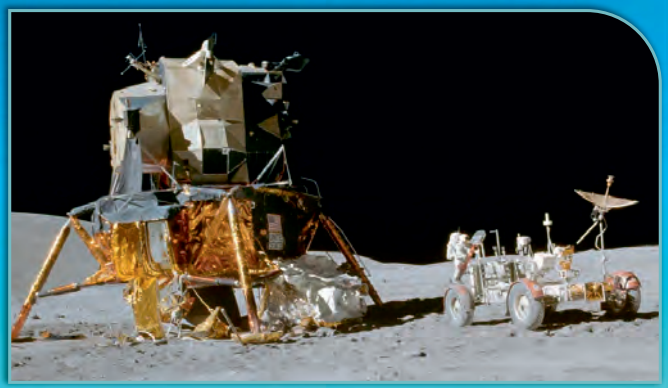
Apollo 11 astronotu Buzz Aldrin, sismik deney paketini de içeren bir deney düzeneğini Ay yüzeyine yerleştirirken görülüyor.

Ay yüzeyine inmiş olmaları da astronotların görevin riskli aşamalarını geride bıraktıkları anlamına gelmiyordu. Radyasyon seviyesi, yeryüzündekine göre çok daha yüksekti. Güneş'ten gelen parçacıklar ölümcül olabilirdi. Mikro gök taşları, uzay giysilerini delip geçebilecek kadar hızlı ve küçüktü. Ay toprağı, cam kırıkları gibi keskin kenarları ve her yüzeye kolayca yapışan yapısı nedeniyle ekipmanlara zarar verebilirdi. İşte bu nedenlerle olaya temel bilimler açısından da yaklaşmak gerekiyordu. Güneş fiziği ve Güneş sisteminin oluşumunun ve günümüze kadar olan geçirdiği değişimlerin araştırılması da çok önemliydi. Bu tür araştırmalara da önemli yatırımlar yapılması gerekti.

Tüm bu zorluklara karşın Apollo programı büyük bir başarıya ulaştı. Ancak bu başarı, olağanüstü bir iş birliğinin, binlerce bilim insanı ve mühendisin yıllar süren emeğinin ve o dönemde ABD ve Sovyetler Birliği arasındaki rekabetin sonucuydu. Bilim ve teknolojideki tüm gelişmelere karşın bugün de benzer bir geniş ölçekli iş birliği sağlanmadan Ay'a insan göndermek hâlâ büyük zorluklar taşıyor.

1972'den Sonra Ne Oldu?

1972 yılında gerçekleştirilen Apollo 17 görevi Ay'a yapılan son insanlı yolculuktu. Bunun tek bir nedeni yok ama nedenler arasında siyasi ve ekonomik etkenler başta geliyor. 1960'larda hız kazanan uzay yarışında Ay; en büyük, en zorlu hedefti ve bu hedefe ulaşmak zafere de ulaşmak anlamına geliyordu. ABD hedefe ulaştıktan sonra kamuoyunun bu konuya ilgisi azaldı ve böylece uzay yarışı da bir anlamda sona erdi, en azından eski motivasyonunu kaybetti. Tam da bu dönemde ABD ekonomik sorunlarla karşı karşıyaydı. Vietnam Savaşı bunun nedenlerinden biriydi. Bu durumda Ay'a daha fazla insan göndermek için gereken bütçe artık kamuoyunun onayından geçmiyordu. Sonuç olarak o sıralar planlanmakta olan Apollo 18, 19 ve 20 görevleri iptal edildi.



NASA

Apollo 16, astronotların Ay yüzeyinde geniş alanları keşfetmelerini sağlayan bir Ay keşif aracı da taşıyordu.

NASA, sonraki yıllarda insanlı uzay çalışmalarında odağını Dünya yörüngesine çevirdi. Uzay mekikleri geliştirildi, ardından uzun vadeli araştırmalar için Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS) inşa edildi. Aynı dönemde gezegenler arası keşif robotları da devreye girdi. Ay'a gitmek yerine Mars'a ve diğer gezegenlere insansız araçlar gönderildi. Bu görevler, bilimsel araştırmalara çok daha az maliyetle büyük katkılar sağladı. O dönemde Rusya da yörüngeye ve diğer gezegenlere insansız araç gönderme çalışmalarına devam etti.

Ay Neden Yeniden Önemli Hâle Geldi?

İnsanlı Ay görevlerine yarım yüzyıl ara verilmesinin ardından Ay yeniden gündeme geldi. Ancak bu kez amaç sadece birkaç saatlik ziyaretler değil, Ay'ın yüzeyinde kalıcı üsler kurmak, bilimsel araştırmalar yapmak ve gelecekte Mars'a ve daha uzak gök cisimlerine yapılacak yolculuklarda Ay'ı bir ara istasyon olarak kullanmak.

Bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile birlikte maliyetlerin düşmesi de uzaya erişimi kolaylaştırdı. Bunun yanı sıra başta Çin olmak üzere bazı ülkelerin bilimsel ve ekonomik olarak büyümesi bu ülkelerin uzay çalışmalarına daha çok kaynak ayırabilmelerini sağladı.

Ay günümüzde yalnızca bir hedef değil, bir kaynak olarak görülüyor. Özellikle son yıllarda gönderilen insansız uzay araçları sayesinde Ay'ın kutup bölgelerinde su buzu bulunduğuna ilişkin güçlü kanıtlar elde edildi. Bu yalnızca gelecekteki astronotlar için içme suyu anlamına gelmiyor. Su, yaşam destek sistemleri ve tarım için de kullanılabilir. Ayrıca su, hidrojen ve oksijene ayrıştırılarak roket yakıtına dönüştürülebilir. Bu da Ay'ı yalnızca bir varış yeri değil aynı zamanda bir kalkış istasyonu hâline getiriyor. Dünya'nın kuvvetli yer çekimi ve atmosferi nedeniyle uzaya büyük kütleli yükler göndermek çok pahalıya mal oluyor. Oysa Ay'da üretilecek yakıt sayesinde Mars gibi daha uzak hedeflere çok daha düşük maliyetle ulaşmak mümkün olabilir. Böylece Ay, gelecekteki derin uzay görevleri için kalkış yeri olabilir.

Yeniden Ay'a gitmenin bir başka itici gücü de yeni bir uzay yarışı. Uzay, artık yalnızca bilimsel merakla yönlendirilen bir keşif alanı değil aynı zamanda politik, ekonomik ve askeri rekabetin de alanı. Ay yüzeyinde kalıcı üsler kurmak, bir ülkeye uzaydaki varlığını pekiştirme, teknolojik üstünlük sağlama ve kaynaklar üzerinde söz hakkı sahibi olma fırsatı sunuyor. Bu nedenle günümüzde ABD, Çin ve Hindistan gibi ülkeler Ay görevlerini sadece bir bilimsel başarı olarak değil, ulusal güvenlik ve prestij meselesi olarak da görüyor. Çin'in Chang'e programı kapsamında Ay'ın Dünya'dan görünmeyen öteki yüzüne yaptığı inişler ve ABD'nin Artemis programı, bu yeni yarışın açık göstergeleri.

Ay'a Dönüşün Yeni Yolu

NASA'nın 1960'lı yıllarda Ay'a insan göndermek üzere başlattığı büyük uzay programına verdiği Apollo adı antik Yunan mitolojisinden gelir. Günümüzde bu tarihi başarıyı devam ettirmek isteyen NASA, yeni Ay programına Artemis adını verdi. Artemis, antik Yunan mitolojisinde Apollo'nun ikiz kardeşi olarak geçer. Artemis programı duyurulduğunda NASA, bu görevin sadece Ay'a dönüşü değil, bu kez daha kapsayıcı bir geleceği simgelediğini vurgulamıştı. Ayrıca görevin amaçları arasında Ay'a ilk kadının ve ilk siyahi kişinin gönderilmesinin de yer aldığını açıklamıştı. Yani günümüzde Artemis adı toplumsal bir simge olarak uzay çağının yeni yüzünü temsil ediyor.

Artemis programı, insanları yeniden Ay'a göndermeyi ve bu sefer orada kalıcı bir varlık göstermeyi hedefliyor. Artemis, yalnızca Ay'a insan indirmeyi değil aynı

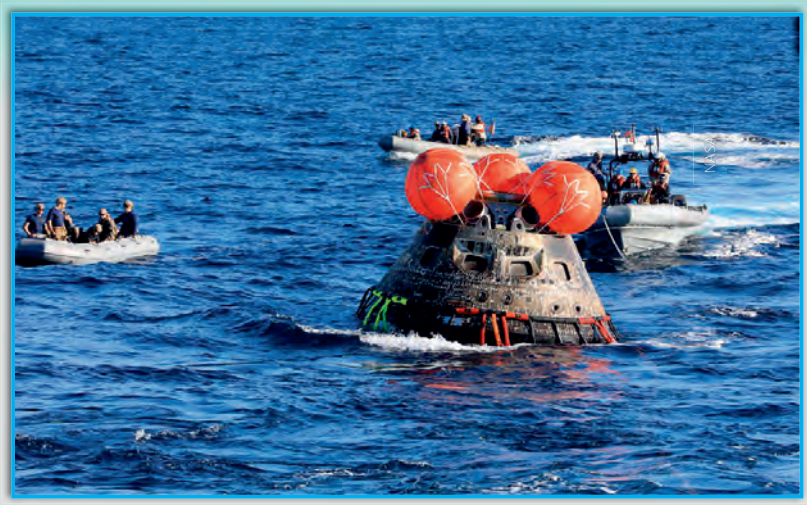
zamanda Güneş sisteminin daha uzak bölgelerine yapılacak yolculuklara da zemin hazırlamayı amaçlıyor. Bu yolculukların nihai hedefi ise Mars.

Programın ilk aşaması, 2022 yılında gerçekleştirilen Artemis I göreviyle başladı. Bu insansız test uçuşunda Orion kapsülü, Ay'ın etrafında bir tur atarak Dünya'ya döndü. Nisan 2026'dan önce gerçekleştirilmesi planlanan Artemis II, dört astronotu Ay yörüngesine taşıyacak. Bu görev, NASA'nın yeni roket sistemi olan Space Launch System (SLS) ile gerçekleştirilecek ilk insanlı test uçuşu olacak. Bu görevde Ay'a iniş yapılmayacak. Görevin amacı, uzay aracının ve roketin insanlı uçuşlar için güvenirliğini sınamak.

SLS roketi, NASA'nın en güçlü fırlatma sistemi olarak tasarlandı. İnsanları Ay'a ve Mars'a taşıması hedefleniyor.

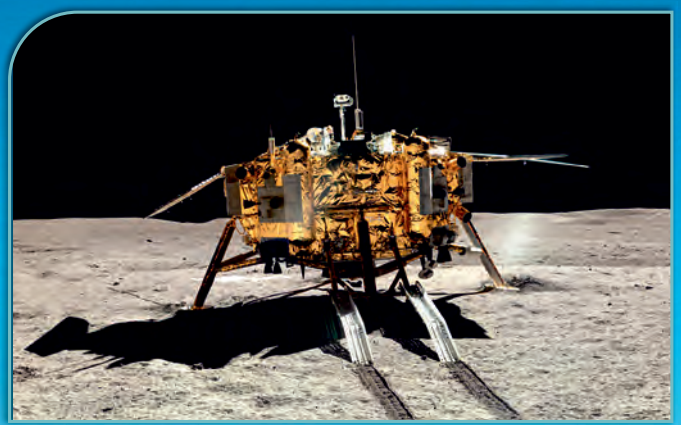
Artemis III ve sonrasındaki görevler, Ay yüzeyine insanlı inişleri ve kalıcı altyapıların kurulmasını kapsayacak. Bunlar arasında, Ay yörüngesinde inşa edilecek Lunar Gateway adlı uzay istasyonu ve yüzeyinde kurulacak yaşam destek sistemlerine sahip üsler yer alıyor. Bu çalışmalar, Mars gibi daha uzak hedeflere yönelik görevlerin provası niteliğinde olacak.

Artemis programında bugüne kadar bazı önemli zorluklarla karşılaşıldı. Yalnızca Artemis I ve hazırlık süreci, öngörülen bütçeyi aşarak günümüze kadar yaklaşık 93 milyar dolara mal oldu. Astronotları taşıyacak Orion kapsülünün ısı kalkanında beklenmedik bir sorunla karşılaşıldı. Ayrıca iniş sırasında kapsüldeki bazı cıvataların eridiği, enerji sisteminde düzensizlikler olduğu görüldü. Bu olumsuzluklar gecikmelere yol açtı.



Orion uzay aracı, test görevini tamamladıktan sonra Pasifik Okyanusu'na yumuşak bir iniş gerçekleştirdi. Bu başarılı iniş, gelecekteki mürettebatlı uçuşlar için kritik bir adım oldu.

Bunlara ek olarak Artemis, Apollo'dan farklı olarak çok uluslu bir girişim. Program; Japonya, Kanada, Avrupa Uzay Ajansı ve Birleşik Arap Emirlikleri gibi ortakları da içeriyor. Bu durum küresel iş birliğini güçlendirse de planlama ve uygulamada karmaşıklıklara yol açabiliyor. Zorluklara rağmen Artemis yalnızca geçmişin başarılarını yinelemeyi değil, uzayda daha kalıcı ve ileriye dönük bir varlık göstermeyi hedefliyor.



NASA

Çin'in 2019 yılında Ay'ın Dünya'dan görünmeyen yüzüne başarıyla indirdiği Chang'e-4 insansız iniş aracı. Fotoğraf, araçla birlikte gönderilen Yutu-2 keşif aracı tarafından çekildi.

Yirminci yüzyılda Ay'a ulaşmak, yalnızca iki devletin yani ABD ve Sovyetler Birliği'nin rekabet ettiği bir hedefti. Bugünse birçok ülke kendi teknolojileri ve vizyonlarıyla Ay'a gidiyor. Bugüne kadar ABD ve Rusya'nın yanı sıra Çin, Hindistan ve Japonya Ay'a başarıyla insansız uzay araçlarını indiren ülkeler oldu. Çin, kuşkusuz yeni Ay yarışında en iddialı ülkelerden biri. Chang'e adlı görev dizisiyle önce Ay'ın Dünya'dan görülmeyen yüzüne yumuşak iniş yaptı, ardından Ay'dan örnek topladı ve bu örnekleri Dünya'ya geri getirdi. Şimdi ise kalıcı üs planları yapıyor ve 2030'dan önce Ay'ın yüzeyine insanlı bir iniş görevi gerçekleştirmeyi hedefliyor. Özellikle su buzlarının bulunduğu Ay'ın güney kutbu, Çin'in ilgi odağı.

Ay'a Kargo Taşımacılığı

Artemis Programı, Ay'ın keşfi için küçük robot uzay araçlarının, deney malzemelerinin ve çeşitli başka yüklerin gönderilmesini de kapsıyor. CLPS (Commercial Lunar Payload Services - Ticari Ay Kargo Hizmetleri) Programı bu amaçla başlatıldı. NASA, bu program kapsamında Ay'a farklı türde yükler göndermek için ticari uzay şirketlerini finanse etmeye başladı. Bu sayede özel sektörün uzay araştırmalarına ve keşiflerine katılımı teşvik edilirken NASA da bu hizmetleri daha düşük maliyetlerle ve daha hızlı bir şekilde gerçekleştirmeyi hedefliyor.

Bugüne kadar CLPS kapsamında bazı özel şirketlerle anlaşmalar yapıldı. Bu kapsamda fırlatılan ilk uzay aracı, Astrobotic Technology adlı şirket tarafından üretilen Peregrine Mission One adlı araçtı. 2024'ün ocak ayında fırlatılan Peregrine, yakıt sızıntısı nedeniyle Ay'a indirilemedi.

CLPS programının başarıya ulaşan ilk görevi olan ve Firefly Aerospace tarafından fırlatılan Blue Ghost'un temsili resmi

Peregrine'den bir ay sonra fırlatılan ve Intuitive Machines adlı şirketin IM-1 görevi kapsamında geliştirdiği Odysseus uzay aracı Ay'ın güney kutbuna ulaştı ancak iniş sırasında devrildi. Buna karşın aracın taşıdığı bilimsel deneylerin çoğu başarıyla gerçekleştirilebildi. CLPS programının tam anlamıyla başarıya ulaşan ilk görevi, Firefly Aerospace tarafından fırlatılan Blue Ghost oldu. 15 Ocak 2025'te fırlatılan araç 10 farklı yükü Ay yüzeyine başarıyla ulaştırdı. Ardından 27 Şubat'ta fırlatılan ve Intuitive Machines adlı şirketin ikinci görevi olan IM-2, ilk görevde olduğu gibi Ay yüzeyine ulaştı ancak araç yine devrildi. Bu sefer taşıdığı bilimsel deneylerden de anlamlı bir sonuç alınamadı.

CLPS görevleri bu yıl ve önümüzdeki yıllarda devam edecek. İlk görevlerin başarıya ulaşma oranı düşük olsa da amaç küçük ama değerli deneyimler elde etmek. Ayrıca tek bir kurum değil, özel şirketler ve uluslararası iş birlikleri gibi pek çok farklı paydaşın katkısıyla Ay'da kalıcı altyapılar kurmak için gereken deneyimi kazanmak ve bu konuya yatırım yapmak isteyen şirketlere yetkinlik kazandırmak.

Ay'a Dönüş Neden Hâlâ Zor?

Teknoloji ilerlemiş olabilir ancak Ay'a insan göndermek hâlâ birçok açıdan son derece karmaşık bir girişim. Ay'a insan göndermek, Dünya yörüngesine çıkmaktan çok daha zordur. Araçlar hem daha güçlü motorlara hem de çok aşamalı görev sistemlerine ihtiyaç duyar. Ay'a yumuşak iniş yapmak hâlâ son derece risklidir. Buna en son bu yıl ve geçtiğimiz yıllarda yapılan bazı insansız ticari görevlerde tanık olduk. İnen araçların birçoğu iniş aşamasında zorluklar yaşadı hatta araçlar kullanılmaz hâle geldi. Bazı hatalar, insansız uçuşlarda bir dereceye kadar göze alınabilir ancak insanlı görevlerde hata payı yok denecek kadar azdır.

Yaşam destek sistemleri de teknik zorluklar arasında sayılabilir. Modern uzay giysileri geçmiştekilere göre çok daha hafif ve dayanıklı. Ne var ki yörüngeye yapılan uçuşlar için tasarlanmış uzay giysileri bir Ay görevinde kullanılamaz. Ay yüzeyi için tasarlanacak giysilerde radyasyona karşı koruma, enerji üretimi, su geri kazanımı gibi pek çok sistemin birbiriyle uyumlu çalışması gerekir. Ay yüzeyindeki sıcaklık farkları -170 °C ile +120 °C arasında değişir. Regolit (Ay toprağı) aşındırıcı özelliktedir ve her yüzeye yapışır, ekipmanlara zarar verebilir. Ayrıca bu giysilerin astronotların Ay yüzeyindeki hareketini kısıtlamayacak şekilde tasarlanması gerekir.

Ay'a yapılacak insanlı görevlerin karşı karşıya olduğu en büyük zorluklardan biri ekonomi. NASA'nın günümüzde yürüttüğü Artemis programı için şimdiye kadar yaklaşık 100 milyar dolar harcandı ve bunun önümüzdeki yıllarda katlanması bekleniyor. ABD gibi ülkelerde bu bütçeler her yıl Kongre onayından geçmek zorunda. Bu da uzun soluklu görevlerinin sürdürülebilir şekilde desteklenmesi konusunda belirsizliğe yol açıyor. Dahası günümüzde uzay görevlerinde özel şirketlerin rolü büyürken şirketlerden kaynaklanan teknik gecikmeler ya da mali krizler gibi sorunlar, devlet projelerini de doğrudan etkileyebiliyor. Bilim politikalarındaki değişiklikler de Ay görevlerinin sürekliliğini zora sokabilir. Üstelik Ay'a dönüş artık sadece bir ülkenin değil, birçok ülkenin ortak hedefi. Uluslararası iş birlikleri ise teknoloji paylaşımı, güvenlik protokolleri ve zamanlama gibi konularda uyum sağlamayı gerektiriyor. Bu da projeleri yavaşlatabiliyor. Ayrıca Ay'daki kaynakların kim tarafından ve nasıl kullanılacağı gibi sorular hâlâ net değil. Uzay hukukundaki belirsizlik, uluslararası rekabetin bu konuda da yoğunlaşmasına neden olabilir.

Ay'dan Mars'a Uzanan Yol

Mars, ülkelerin uzun vadeli uzay keşif hedeflerinin başında geliyor. Ancak Mars'a insan göndermek, Ay'a gitmekten çok daha karmaşık bir görev. Uzaklık, zaman, radyasyon ve yaşam destek sistemleri gibi pek çok etken bu yolculuğu şimdiye kadar yapılmış en zorlu keşif hâline getiriyor.

NASA

Ay, Dünya'ya yaklaşık üç gün uzaklıkta. Bu mesafe, Mars'a yapılacak bir yolculuğun aylar süren uzunluğuna kıyasla çok daha kısa. Yine de Ay'da yapılacak görevler, insanlı Mars görevlerinde karşılaşılabilecek zorluklara dair değerli veriler sağlayacak. Örneğin uzun süreli yaşam destek sistemlerinin denenmesi, radyasyonun etkilerinin ölçülmesi, yüzeydeki robot-insan iş birliği gibi konular Ay'da test edilebilir.

Ay'da kurulacak üsler, Mars görevlerine hazırlık için bir eğitim kampı gibi işlev görebilir. Astronotlar, Ay'daki görevlerde psikolojik dayanıklılık, ekip çalışması, kapalı ortamlarda uzun süreli yaşama gibi Mars'ta da karşılarına çıkacak koşullara hazırlanabilirler.

Sonuç olarak Ay, yalnızca bilimsel keşiflerin değil aynı zamanda Mars ve ötesine yapılacak yolculukların da kapısını aralayabilecek bir basamak olarak görülüyor.

Peki Değer mi?

20. yüzyılda Ay'a ilk ayak basıldığında bu olay, tüm dünyada milyonlarca insanı ekran başına kilitlemiş, sınırların ötesinde bir heyecan yaratmıştı. Bugün bu kolektif duyguyu yeniden inşa etmek için güçlü bir fırsat doğmuş durumda. Çünkü artık Ay yolculuğu, yalnızca bir ülkenin değil, birden çok ülkenin ve özel şirketin katıldığı çok uluslu projelerle gerçekleştiriliyor. Örneğin NASA'nın Artemis programı Avrupa, Japonya ve Kanada gibi birçok ülkenin katkısıyla şekilleniyor. Çin de Ay programı için başka ülkelerle iş birliği fırsatları araştırıyor. Rusya olası ortaklar arasında. Bu tür ortaklıklar, yalnızca görevlerin teknik başarısını değil, küresel ölçekte barışçıl iş birliğini de teşvik edebilir. ■

Kaynaklar

Why Is It So Hard to Go Back to the Moon?, *Scientific American*, Scoles, S., Ekim 2024
https://www.congress.gov/crs-product/
https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/First_steps_returning_humankind_to_the_Moon
https://www.nasa.gov/humans-in-space/artemis/
https://www.nasa.gov/the-apollo-program/
https://www.planetary.org/space-missions/artemis
https://www.space.com/why-is-getting-to-the-moon-so-hard
https://www.wired.com/story/why-nasa-wants-to-go-back-to-the-moon/
https://www.tua.gov.tr/tr/proje/ayap-1-2

Türkiye'nin Ay Görevi

Türkiye, uzay araştırmaları alanında yeni bir aşamaya geçiyor. Daha önce yürütülen gözlem ve haberleşme uydusu projelerinin ardından şimdi hedef, Dünya yörüngesinin ötesine ulaşmak. Milli Uzay Programı'nın hedeflerinden biri olan Ay Araştırma Projesi, ülkemizin ilk derin uzay görevi olacak.

Ay programı iki aşamadan oluşuyor. İlk aşamada yerli imkânlarla geliştirilen bir uzay aracı Ay yörüngesine gönderilecek. Araç, burada çeşitli bilimsel veriler toplayacak ve görev sonunda kontrollü bir sert iniş gerçekleştirecek. Bu görevde Ay'ın manyetik alanı, yüzey sıcaklıkları, radyasyon düzeyleri ve yüzey bileşimi gibi veriler toplanacak. Aynı zamanda ülkemizin uzayda bilimsel veri üretme ve işleme kapasitesi de ilk kez sınanmış olacak.

İkinci aşamada ise Ay'a yumuşak iniş yapabilen bir keşif aracı gönderilmesi hedefleniyor. Bu araç, yüzeyde hareket ederek örnek toplayacak ve Ay'daki kaynakları araştıracak. Suyun işlenmesi, uranyum ve toryum gibi metallerin ayrıştırılması ve madencilik uygulamaları da yapılması planlanan araştırmalar arasında yer alıyor. Henüz tasarım aşamasında olan bu görev, ilk görevden elde edilecek verilere göre şekillenecek.

Ay görevinde kullanılacak teknolojiler, Türkiye'nin geçmiş uydu projelerinde geliştirdiği altyapıya dayanıyor. RASAT, Göktürk 2, İMECE ve TÜRKSAT 6A gibi uydu projelerinde edinilen deneyimler, yazılımlar ve sistemlerden, Ay aracının geliştirilmesinde de yararlanılıyor. Görevdeki bileşenlerin büyük bölümü yerli olarak üretiliyor. Operasyon süreçlerinin tamamı ise Türkiye'den yönetilecek.

İlk Ay görevinin 2027 yılında gerçekleşmesi planlanıyor. İkinci görev ise 2030'lu yıllarda gerçekleşecek. Bu projeler, sadece mühendislik değil; bilim, hukuk, iletişim ve uluslararası iş birlikleri gibi çok disiplinli bir yapıya sahip. Amaç, Ay'a ulaşmanın ötesinde uzun vadeli bilimsel ve teknolojik bir birikim kazanmak.
Türkiye'nin Ay görevi ile ilgili detaylı bilgi almak için bu konularda Bilim ve Teknik podcast kanallarında yayınlanan bölümlerimizi kare kodları akıllı cihazınıza okutarak dinleyebilirsiniz.

Dr. Burak Yağlıoğlu
TÜBİTAK UZAY
Türkiye Ay Araştırma Programının Ayrıntıları

Bülent Avenoğlu
TÜBİTAK UZAY
Türkiye'nin Ay Görevleri

Kulağınız Her Daim Bilimde Olsun!

TÜBİTAK

Bilim ve Teknik Podcast

YAYINDA

Alanında uzman bilim insanları ile yapılan söyleşileri
Spotify, YouTube Music, Apple Podcast ve
SoundCloud aracılığı ile dinleyebilirsiniz.

Merak Ettikleriniz

Mesut Erol [*merak.ettikleriniz@tubitak.gov.tr*

Yutulan Sakız
Vücutta Yıllarca Kalır mı?

Çiğnediğiniz sakızı yanlışlıkla yuttuğunuzda aklınıza o meşhur söylenti gelebilir. Dünya çapında yaygın biçimde ifade edilen ve kökeni bilinmeyen bu iddiaya göre yutulan sakız sindirilemediği için yıllarca midenizde ya da bağırsaklarınızda kalabilir. Bu söylentinin sindirimle ilgili kısmında bir gerçeklik payı olsa da vücutta kalma süresi yıllarla değil saatlerle ifade edilebilecek ölçüdedir.

Sakızın sindirim durumuna geçmeden önce besinleri nasıl sindirdiğimize bir göz atalım. Yiyeceklerin sindirimi ağızdaki mekanik süreçle başlar. Burada ezilerek küçük parçalara ayrılan yiyecekler, kas hareketleriyle sindirim kanalının sonraki duraklarına gönderilir. Tükürükte, mide öz suyunda ve bağırsaklarda çeşitli enzimler bulunur. Bu enzimler, temel besin maddelerimiz olan yağları, karbonhidratları ve proteinleri parçalayarak vücudun kullanabileceği basit bileşenlere dönüştürür. Çiğnenmiş besinler, mide öz suyundaki hidroklorik asit ile tuzlar sayesinde bulamaç hâline getirilerek daha kolay işlemden geçirilmesi için bağırsaklara iletir.

Sakızın ana bileşeni olan sakız bazı (sakız mayası) bir besin olmadığı için yutulduğu zaman sindirim kanalında tüm bu süreçlerden aynı şekilde geçeceğini söyleyemeyiz. Sakızda ayrıca şeker ya da yapay tatlandırıcılar, aroma vericiler, sakızın dokusal özelliklerini kazandırmak için yumuşatıcı ve hacim arttırıcı maddeler bulunur. Sakız bazı, doğal ya da sentetik kauçuktan üretilir. İdeal çiğnenebilirliği sağlamak ve kauçuk ağaçlarının aşırı kullanımını engellemek için günümüzde sakız üretiminde, bir sentetik kauçuk türü olan bütil kauçuktan yaygın biçimde yararlanılır.

Sakız bazındaki kauçuğun temel işlevi sürekli çiğnenebilirliği sağlamak olduğu için sakız, ağızdaki mekanik sindirimden pek etkilenmez. Sakızda düşük miktarlarda bulunan karbonhidrat ile yağ ise sindirilebilir besin özelliği gösteren maddelerdir. Sindirim kanalındaki enzimler karbonhidrat ve yağları parçalasa da insan vücudunda kauçuk polimerlerini sindirecek enzimler yoktur. Öte yandan kauçuk, mide öz suyundaki aside karşı da dayanıklıdır. Hatta bütil kauçuk gibi polimerler, bu dayanıklılıkları nedeniyle laboratuvar eldivenlerinin üretiminde de kullanılır.

Sakız bazındaki kauçuk sindirimden kurtulsa da tıpkı tamamını sindiremediğimiz besin maddelerinde olduğu gibi vücuttan kısa sürede atılır. Yutulan sakız da besin maddeleriyle birlikte sindirim kanalında ilerler ve ortalama 40 saatlik bir süre sonrasında dışkıyla vücuttan atılır. ■

Kaynaklar

livescience.com/health/does-gum-really-take-7-years-to-digest
mcgill.ca/oss/article/health/gum-and-7-year-myth
scientificamerican.com/article/fact-or-fiction-chewing-gum-takes-seven-years-to-digest

Jun / iStock

Neden Bazı Giysilerde Sarı Ter Lekeleri Oluşur?

Sevdiğiniz beyaz bir tişörtü bir süre giydikten sonra koltuk altı bölgesinde ortaya çıkan sarı lekeler keyif kaçırıcı olabilir. Bunun nedenini düşününce terin renksiz ve saydam bir sıvı olduğu aklınıza gelebilir. O zaman geriye pek bir seçenek kalmıyor. Lekelerin sorumlusu, terlemeyi ya da ter kokusunu önlemek için kullanılan kozmetik ürünler olabilir mi?

Bu durumun nedenini anlamak için önce ter bezlerinin yapısını ve çalışma biçimini bilmek gerekir. Ter bezleri genellikle ekrin ve apokrin olmak üzere iki temel başlıkta incelenir. Doğrudan deri yüzeyine açılan ekrin ter bezleri, dudaklar haricinde neredeyse tüm vücut yüzeyinde bulunur. Kıl foliküllerine açılarak salgılarını oradan deri yüzeyine ulaştıran apokrin ter bezleri ise daha çok vücutta kıl yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde bulunur. Ergenlik çağıyla birlikte etkin hâle gelen apokrin bezlerinin salgısı, içerdiği madde çeşitliliği ve yoğunluğu nedeniyle ekrin bezlerinin salgısına göre daha kıvamlıdır. Öte yandan bu bezler sadece vücut sıcaklığını dengelemek için ter üretmez, stresli ya da endişeli olma gibi duygu durumlarında da etkinlikleri artabilir.

Apokrin bezlerin ürettiği teri kıvamlı hâle getiren bileşenlerden ikisi yağlar ve proteinlerdir. Terin kendisi kokusuz olsa da koltuk altlarında bulunan bakteriler, bu maddeleri parçalayarak kokusu rahatsız edici bulunabilen yan ürünler açığa çıkarır. Deodorantlar, bakterilerin üremesini engelleyerek ya da hoş kokulu maddelerle bakterilerin ürettiği kokuları maskeleyerek ter kokusunun önüne geçmeye çalışır.

Antiperspiran olarak da bilinen ter önleyicilerin ya da ter önleme özelliği de bulunan iki işlevli deodorantların ise ter kokusunu engelleme konusunda ek bir stratejisi vardır. Bu ürünler, içerdikleri alüminyum klorohidrat gibi alüminyum tuzları nedeniyle apokrin ter bezleri için bir tür jel benzeri tıkaç görevi görür. Terin vücut dışına çıkmasını sağlayan kanalların önemli bir bölümü kapandığında bakterilere parçalayarak koku üretecekleri daha az madde ulaşmış olur. Ancak bu alüminyum tuzları, koltuk altı bölgesindeki terle reaksiyona girer. Reaksiyon sonucu açığa çıkan maddeler de giysilerdeki liflerle reaksiyona girerek kumaşın rengini sarartan farklı bileşikler açığa çıkarır. Bu reaksiyonların neden sarı lekelere yol açtığı henüz tam olarak bilinmiyor. Bazı uzmanlar alüminyum tuzlarının, terdeki proteinlerin giysilere tutunmasına neden olduğu ihtimali üzerinde de duruyor. ■

Kaynaklar

health.howstuffworks.com/wellness/men/sweating-odor/antiperspirant-stain-clothes.htm

nytimes.com/wirecutter/blog/pit-stains-on-white-tee

scienceabc.com/pure-sciences/why-does-sweat-leave-yellow-stains-after-drying-even-though-it-is-colorless.html

122 Yıllık Üçgen-Kare Dönüşüm Bulmacasının Çözümünün Doğruluğu Kanıtlandı

İlay Çelik Sezer [*TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

Matematikte çoğu zaman sadece bir problemin ne anlama geldiğini anlamak için bile epey matematik bilgisi gerekir. Buna karşılık bazı matematik problemleri de herkesin anlayabileceği kadar basit ve yalındır. Ancak kolayca anlaşılmaları, kolayca çözülebilecekleri anlamına gelmez. Tıpkı tam 122 yıl çözülmeyi beklemiş olan "Dudeney diseksiyon problemi" gibi… Gelin anlaşılması çok kolay olan bu problemin 1902'de İngiltere'deki bir gazetenin bulmaca köşesinde başlayan hikâyesini birlikte keşfedelim…

"Şekilleri parçalara ayırıp yeni şekiller oluşturma problemi, insanlar hayvan derilerinden giysiler üretmeye başladığından beri var olan bir problem. Bu tür problemler kâğıt, kumaş gibi ince malzemelerin kullanıldığı başka pek çok alanda da karşımıza çıkıyor. Yaptığımız ispat, bu tür diseksiyon problemlerinin anlaşılmasına ve çözümüne yönelik yeni ufuklar açıyor." diyor Uehara.

Bugün Japonya İleri Bilim ve Teknoloji Enstitüsünde (JAIST) öğretim üyesi olan Tonan Kamata, on yıl kadar önce bir matematik müzesindeki origami benzeri bir sergi ünitesi karşısında adeta büyülenmişti. Sergi ünitesinde dört parçaya bölünmüş üçgen bir plaka vardı. Parçalar birbirine uç uca minik menteşelerle tutturulmuş hâldeydi. Parçalar menteşeler yardımıyla basitçe döndürüldüğünde üçgen bir kareye dönüşüyordu.

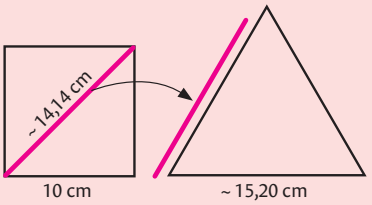
Sergi ünitesinin esin kaynağı ise 1902 yılında İngiltere'deki bir gazetede yayımlanan bir matematik bulmacasıydı. Kendi kendini yetiştirmiş bir matematik meraklısı olan ve aynı zamanda bir gazetede bulmaca köşesi hazırlayan Henry Dudeney, okurlarına şu soruyu sormuştu: Bir eşkenar üçgeni, parçaların arka yüzleri çevrilmeksizin yerleri değiştirilerek bir kare oluşturacak şekilde en az kaç parçaya ve nasıl bölersiniz? Dudeney iki hafta sonra yayımlanan köşesinde, Manchester'dan Mr. C. W. McElroy adlı, Dudeney'e sık sık bulmaca çözümleri gönderen bir memurun dört parçalı bir çözüm bulduğunu yazdı. İki hafta daha geçtikten sonra Dudeney, okurlara McElroy'un çözümünden daha iyi, yani daha az parça içeren bir çözüm gelmediğini duyurdu. Bu rekor o zamandan beri korundu. Ancak kısa bir süre öncesine kadar daha az parça içeren bir çözüm olup olmadığı da kanıtlanamadı.

Japonya İleri Bilim ve Teknoloji Enstitüsü öğretim üyeleri Prof. Dr. Ryuhei Uehara ve Dr. Tonan Kamata ile Massachusetts Teknoloji Enstitüsünden (MIT) Prof. Dr. Erik Demaine, işte bu soruya yanıt bularak çığır açıcı bir başarıya imza attı. Üçlü, Dudeney'nin 122 yıl önce yayımladığı orijinal çözümün gerçekten de optimal çözüm olduğunu kanıtladı. Araştırmacılar, çalışmayı 5 Aralık 2024 tarihinde erişimi herkese açık olan arXiv adlı akademik paylaşım platformunda yayımladı ve geçtiğimiz ocak ayında yapılan 23. Japonya Kuramsal Bilgisayar Bilimi Çalıştayı'nda (LA/EATSCS) sundu. Araştırmacılar çalışma kapsamında şu temel teoremi kanıtladı: Aynı alana sahip bir eşkenar üçgen ile bir kare, parçalar arka yüzlerine çevrilmemek kaydıyla üç ve daha sayıda ortak parçaya bölünerek birbirine dönüştürülemez. Başka bir deyişle parçaları ters çevirmeden tekrar birleştirerek bir kare oluşturabilmek için eşkenar üçgeni en az dört parçaya bölmek gerekir. Dudeney'nin orijinal çözümünde de parçaların arka yüzüne çevrilmeme şartı geçerliydi.

Diseksiyon problemi olarak isimlendirilen bu tür problemlerle ilgili başlıca zorluk, bir çokgeni parçalayarak bir başka çokgene dönüştürürken ilk çokgeni mümkün olan en az sayıdaki parçaya ayırma şartıdır. Diseksiyon problemlerinden bazıları, matematikçileri ve

bulmaca meraklılarını yüzyıllarca uğraştırmıştır. Dudeney'nin bulmacası da en ünlü diseksiyon problemlerinden biri olarak günümüze kadar geldi. Diseksiyon problemleri sadece matematikçilerin ilgi alanına girmekle kalmaz; tekstil, mühendislik ve endüstriyel üretim gibi alanlarda da uygulama bulur. Kamata bir süredir Uehara ve Demaine ile ortak çalışmaları kapsamında origami katlama problemlerinin çözümü için çizge kuramını kullandıkları yeni bir yaklaşım geliştirmeye çalışıyordu. Çizge kuramı, nesneler arasındaki ikili ilişkileri çizge adı verilen matematiksel yapılar kullanarak inceler. Çizgeler, düğüm adı verilen noktalar ve bu noktaları birleştiren çizgiler yani kenarlar ile görselleştirilen matematiksel yapılardır. İki yapı arasındaki ilişkileri derinlemesine incelemek amacıyla bir çizgenin kenarları ve düğümleri ile bir başka çizgenin kenarları ve düğümleri arasında karşılaştırmalar yapılabilir. İşte Kamata bu yaklaşımın Dudeney'nin diseksiyon probleminin çözümünde işe yarayabileceğini düşündü.

Dudeney diseksiyon probleminin çözümünün bir kısmı oldukça basit sayılır. İki parçalı çözüm olasılığı, problemin kısıtları düşünüldüğünde elenir. Şöyle ki üçgen ve karenin eşit alana sahip olması gerekir çünkü aynı parçalardan oluşmalıdır. Aynı parçalardan oluştukları için de iki parçalı bir çözümde bu parçaların kenarlarından bazılarının üçgenin ve karenin kenarlarını oluşturması gerekir. Bir kareden kesilebilecek en uzun kenar ise karenin köşegenidir. Gerek çizimle gerek kâğıtları kesip biçerek gerekse de hesaplamayla görülebilir ki karenin bölümlenmesiyle elde edilebilecek en uzun kenar olan köşegenin uzunluğu, o kareyle aynı alana sahip (neden aynı alana sahip olmaları gerektiğini az önce belirttik) bir eşkenar üçgenin bir kenarının uzunluğundan küçüktür. Bu da iki parçalı bir çözümün imkânsız olduğunu kanıtlar. Bu ispatın mantığını yukarıdaki çizim ve hesaplarımızda da görebilirsiniz.



Karenin Alanı = Üçgenin Alanı

İki parçalı bir çözüm mümkün olsa, kareden kesilecek iki parçadan en az birinin en az bir kenarının üçgenin bir kenarını oluşturması gerekir. Karenin iki parçaya bölünmesiyle oluşturulabilecek en uzun kenar ise karenin köşegenidir. Örneğin kenar uzunluğu 10 cm olan bir kareyle eşit alana sahip (aynı parçalardan oluşacaklar ise eşit alana sahip olmak zorundalar) bir eşkenar üçgenin kenar uzunluğu yaklaşık 15,20 cm'dir. Ancak kenar uzunluğu 10 cm olan karenin iki parçaya bölünmesiyle elde edilebilecek en uzun kenar olan köşegenin uzunluğu yaklaşık 14,14 cm'dir. Bu da eşit alana sahip eşkenar üçgenin bir kenarını oluşturmak için yeterli değildir. Yukarıdaki çizimde de görsel olarak açıkladığımız bu durum, iki parçalı çözümün mümkün olmadığını kanıtlar.

Üç parçalı bir çözümün var olmadığını kanıtlamak ise çok daha meşakkatli oldu. Nitekim problemin çözümünü yüzyıldan uzun süre geciktiren de bu kısımdı.

Dudeney diseksiyon probleminin dört parçalı çözümü

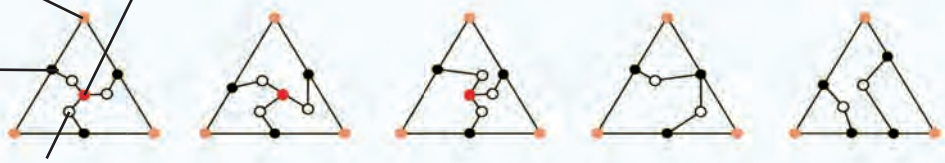
Dudeney'nin Diseksiyon Problemi İçin Üç Parçalı Bir Çözüm Arayışı

Aşağıdaki şemalar, eşkenar üçgenler ve kareler için üç parçalı bölümleme seçeneklerini gösteriyor. Farklı türdeki köşe noktaları, her iki geometrik şekil üzerindeki kesim yerlerinin ve açıların karşılaştırılmasına imkân tanıyor. İçi boş halkalar, çizgeler karşılaştırıldıktan sonra düğüm noktalarında kenarların birleşme açılarındaki "oynamayı" yani esneklik alanlarını takip etmeye yarıyor. Kesim noktalarındaki bu esneklik alanı ispatın tamamlanması için bir dizi *lemmayı* (teoreme giden ara adımları) gerekli kıldı.

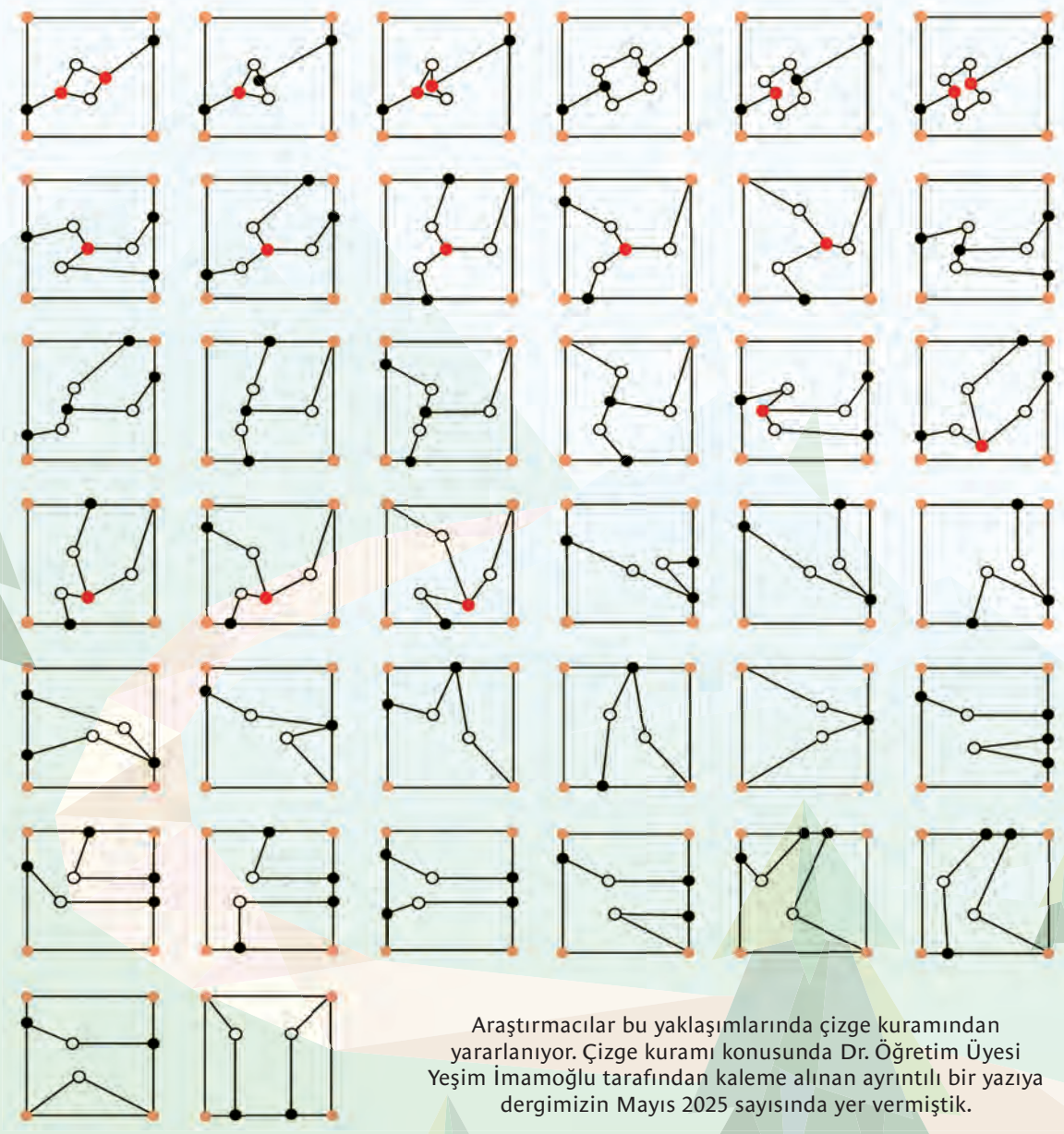
Turuncu noktalar: Düğümleri belirtir.

Kırmızı noktalar: Üç kenarın kesiştiği noktaları belirtir.

Siyah noktalar: İki kenarın birleştiği ve iç açıların toplamının 180 derece olduğu noktaları belirtir.



İçi boş halkalar (beyaz daireler): İki kenarın birleştiği ve iç açıların toplamının 360 derece olduğu noktaları belirtir.



Araştırmacılar bu yaklaşımlarında çizge kuramından yararlanıyor. Çizge kuramı konusunda Dr. Öğretim Üyesi Yeşim İmamoğlu tarafından kaleme alınan ayrıntılı bir yazıya dergimizin Mayıs 2025 sayısında yer vermiştik.

Demaine, her ne kadar sadece üç parçalı bir yapboza karşılık gelse de bir üçgeni üç parçaya bölmenin sonsuz sayıda yolu olduğunu söylüyor. "Bu parçalardan her biri herhangi sayıda kenara sahip olabilir ve kesimler, şekil üzerindeki herhangi konumdan başlayabilir. Ortada sürekli değişebilen parametreler var ve bu da sonsuz sayıda olasılığı beraberinde getiriyor. İşte bu yüzden bu problem can sıkıcı derecede zor. Bunu bilgisayar yardımıyla tüm olasılıkları tek tek deneyerek çözemezsiniz." diyor Demaine.

Araştırmacılar, bu problemin üstesinden gelmek için eşkenar bir üçgenin mümkün olan bölümlenme biçimlerini, kesimlerin üçgenin kenarlarıyla nasıl çakıştığına dayalı olarak kategorize etti. Araştırmacılar önce üçgeni bölümlemenin sonsuz sayıdaki yolunu 5 kategori altında topladı. Sonra da aynı işlemi bir kare için yaptılar ve 38 farklı kategori tespit ettiler.

Daha sonra araştırmacılar, kesim çizgileri çizgenin kenarlarını, kesimlerin birleşim noktaları ise çizgenin düğümlerini oluşturacak şekilde bu kategorilerin her birini bir çizge ile temsil etti. Bu sayede parçaların nerede birleştikleri, kenarların uzunlukları ve birleşme açıları karşılaştırılabilir hâle geldi. Bu kategoriler arasında eşleşmeler bulmak amacıyla bir tür "diyagram eşleştirme" yöntemi uygulandı. Araştırmacılar üçgenin her bir çizgesini karenin her bir çizgesiyle karşılaştırdı. Bunu, her bir şekildeki mümkün olan tüm kesim çizgisi rotalarını izleyip bu rotalardaki kenar uzunluğu ve açı örüntülerini karşılaştırmak suretiyle yaptılar. Eğer karenin çizgelerinden birinin çizgi rotalarındaki örüntüsü, üçgenin çizgelerindekinden biriyle uyuşsaydı bu, araştırmacıların üç parçalı bir çözüm keşfettikleri anlamına gelecekti.

Bu yaklaşımın sonsuz bir olasılıklar havuzu biçiminde süreklilik arz eden bir problemi görece daha somut ve incelenebilir bir hâle getirdiği söylenebilir. Öte yandan Demaine her bir kategori içinde tüm bu düğümlerin yer alabileceği hâlâ sonsuz sayıda konum bulunduğunu hatırlatıyor. Bu da çizge karşılaştırmalarının üç parçalı çözümün mümkün olmadığını kanıtlamaları için tek başına yeterli olmadığı anlamına geliyordu. Bu yüzden de araştırmacılar kanıtı tamamlayabilmek için bir dizi karmaşık *lemma* yani teoreme giden ara adımlar önerdi. Bu lemmalar, üçgen ve kare bölümlemelerinde kullanılan kategorileri temsil eden çizgelerin hiçbiri arasında eşleşme olmadığını ortaya çıkardı. Sonuçta, araştırmacılar çelişkiyle ispat (bir önermeyi, tersinin mantıksal bir çelişkiye sebep olduğunu göstererek ispatlamak) yönteminden yararlanarak üç parçalı çözümün mümkün olmadığını kanıtladı.

Pek çok diseksiyon problemi için belirli sayıda parça içeren çözümler bulunsa da en az parçayı içeren çözüm optimal yani geçerli şartlardaki en iyi çözüm sayılıyor. Bu çalışmada geliştirilen teknik ile ilk defa bu tür bir problem için belirli bir çözümün optimal çözüm olduğu kanıtlandı. Uehara, "Geliştirdiğimiz teknik, kesip yeniden düzenleyerek birleştirme biçimindeki gerçek hayat problemleri için de optimal bir bölümleme bulmanın mümkün olduğunu gösteriyor. Bu teknik geliştirilerek bölümleme problemleri için tamamen yeni keşiflerin de önünü açabilir." diyor. Özellikle de araştırmacılar ispatlarını sadeleştirebilirlerse geliştirdikleri "diyagram eşleştirme" yönteminin çözüm bekleyen origami katlama problemlerine benzer birçok problemin çözülmesine yardımcı olabileceği düşünülüyor. ■

Kaynaklar

https://www.scientificamerican.com/article/mathematicians-find-proof-to-122-year-old-triangle-to-square-puzzle/
https://www.jaist.ac.jp/english/whatsnew/press/2025/03/11-1.html

Hayvanların Toplu Hareketlerinin Dinamiği
Koyun Sürülerinin Fiziği

Dr. Mahir E. Ocak | *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

Hayvan sürülerinin toplu hareketlerini açıklayan fiziksel modeller geliştirmek üzerine onlarca yıldır bilimsel çalışmalar yapılıyor. Bu modellerin uygulama alanları sadece hayvan sürüleriyle de sınırlı değil. Araç trafiği ya da yayaların hareketleriyle ilgili basit modeller bile gerçek hayatta karşımıza çıkan trafik sıkışıkları ya da tehlike altındaki insanların panik hâlinde kaçışması gibi karmaşık durumları gayet başarılı bir biçimde betimleyebiliyor. Son zamanlarda üzerine çalışmalar yapılan konulardan biri ise koyun sürülerinin toplu hareketlerini modellemek. Geliştirilecek algoritmalar sayesinde gelecekte bir gün koyun sürülerini güden robotlar ya da insansız hava araçları geliştirmek mümkün olabilir.

sanddebeautiful / iStock

Sürü İçinde Yaşamanın Avantajları

Sürü hâlinde yaşamanın pek çok avantajı vardır: yırtıcı hayvanlara karşı korunma, çevreyi toplu hâlde algılama, bilgiyi paylaşma ve işleme... Bu avantajlardan yararlanılabilmesi için sürünün birlik ve beraberliği her durumda korunabilmelidir. Dolayısıyla hareket hâlindeki sürülerin de bir arada kalmayı başarabilmesi gerekir.

Philip Thurston / iStock

Farklı hayvan türlerindeki sürülerin toplu hareketlerinin gerçekleşme biçimi arasında doğal olarak farklılıklar var. Örneğin bazı hayvan türlerinde toplu hareketleri yönlendiren bir lider bulunmazken bazı hayvan türlerinde ise hiyerarşi gözlemleniyor. Örneğin sığırcık sürüleri, toplu hareketlerin bir lider tarafından yönlendirilmediği türlerin örneklerinden. Fil sürüleri ve zebra sürülerinde ise bireyler bir çizgi hâlinde hareket ediyor ve sürünün en önündeki birey, harekete liderlik ediyor. Bu tür hiyerarşilerin hem avantajları hem dezavantajları var. Kararların sürü içinde uzlaşarak değil de bir lider tarafından verilmesi hâlinde sürü çok daha hızlı bir biçimde uygulamaya geçebiliyor. Kararların bir lider tarafından verilmesinin dezavantajı ise karar alma sürecinde kullanılan bilginin sınırlı kalması, farklı bireylerin sahip olduğu farklı bilgilerin karar alma sürecine katkıda bulunmaması.

Reynolds Algoritması

Yazılım mühendisi Craig Reynolds, 1987 yılında kuş sürülerinin hareketleri için bir algoritma geliştirmişti. Kuşların sadece yakın çevrelerindeki diğer kuşların hareketlerini algılayıp tepki vermesine dayalı algoritma, birkaç basit kuralla kuş sürülerinin hareketlerini gayet başarılı bir biçimde simüle edebiliyordu.

Reynold'un algoritmasındaki sanal kuşlara İngilizcede kuş anlamına gelen bird ve insan benzeri robot anlamına gelen droid kelimelerinin bir araya getirilmesiyle türetilmiş bir isim veriliyor: boid. Bu sanal kuşların toplu hâlde hareket ederken uyması gereken üç basit kural var:

1. Yakın çevredeki aşırı kalabalıklaşmış boidlerden uzaklaş,

2. Hareket yönünü yakın çevredeki diğer boidlerin ortalama hareket yönüne ayarla

3. Yakın çevredeki diğer boidlerin ortalama konumuna (yakın çevredeki boidlerin kütle merkezine) doğru yol al.

Ashley Cooper / SPL

Sığırcık sürüsü

Bu kuralların birincisi çarpışmaları engelleyen bir itici kuvvet tanımlar, ikincisi ve üçüncüsü ise sürünün bir bütün hâlinde hareket etmesini sağlar.

Lion King (Aslan Kral) filminde antilop sürüsünün hareketlerini simüle etmek için boid modeli kullanılmıştı.

Boid modeli ilk olarak Reynolds'un çalışanı olduğu Symbolics firması tarafından yayımlanan "Stanley and Stella in: Breaking the Ice" adlı kısa animasyon filminde kuşların ve balıkların hareketlerini simüle etmek için kullanılmıştı. İlerleyen yıllarda "Lion King" ve "Batman Returns" gibi pek çok filmde yarasa, penguen ve antilop gibi hayvan sürülerinin toplu hareketlerini simüle etmek için boid modeli kullanıldı.

Boid modelinin uygulama alanı sadece bilgisayar grafikleri ile sınırlı değildir. İnsansız hava ve kara aracı sürülerini toplu hâlde hareket ettirmek için de Reynolds algoritması kullanılabilir.

Toplu Hareketler ve Faz Dönüşümleri

Canlı organizmaların toplu hareketleri üzerine yapılan araştırmalar "aktif madde" biliminin ortaya çıkmasına yol açtı. Aktif madde terimi kendi itkisiyle (enerji tüketerek) hareket eden maddeyi tanımlamak için kullanılır. Hayvan sürülerinin yanı sıra bakteri kolonileri, canlı dokularda toplu hâlde göç eden hücreler ve kendi itkisiyle hareket eden kolloidler de aktif madde biliminin kapsamına girer.

1990'ların sonralarında fizikçiler Tamás Vicsek ve Andras Czirók aktif maddenin toplu hareketleriyle düzenli dizilerdeki parçacıkların manyetik spinlerinin davranışları arasında benzerlikler tespit etti. Düzenli dizilerdeki manyetik spinler de yakın çevrelerindeki diğer manyetik spinlerin durumunu "algılar" ve "cevap verir". Aktif madde ile düzenli dizilerdeki manyetik spin sahibi parçacıklar arasındaki en temel fark, aktif maddenin hareketli olması, düzenli dizilerdeki parçacıkların ise belirli konumlarda bulunmasıdır.

Vicsek ve Czirók'un elde ettiği sonuçların en önemlilerinden biri, grup hareketlerinde ani faz dönüşümlerinin gerçekleşebileceğinin ve hangi fazların (hangi tür davranışın) hangi koşullar altında ortaya çıktığının bir faz diyagramı içinde özetlenebileceğinin gösterilmesi oldu. Bir tür maddenin katı, sıvı, gaz hâllerinin hangi sıcaklık ve basınç koşulları altında ortaya çıktığının maddeye özgü faz diyagramlarında betimlenmesine benzer biçimde, hangi tür grup davranışının hangi koşullar altında ortaya çıktığı da faz diyagramlarında betimlenebilirdi.

Koyun Sürelerinin Dinamikleri

Son zamanlarda üzerine çalışmalar yapılan konulardan biri koyun sürülerini modellemek. Çeşitli araştırma grupları, gerçek koyun sürülerini doğada gözlemleyerek sürülerin dinamiklerini daha iyi anlamaya ve bu dinamikleri en iyi betimleyen modeller geliştirmeye çabalıyor. Konuyu zorlaştıran en önemli etkenlerden biri, koyunların genel kanının aksine pek de uysal hayvanlar değil farklı kişiliklere sahip canlılar olması. Sürüdeki tüm bireylerin birbirinin tıpa tıp aynısıymış gibi ele alındığı modellerle gerçekçi bir koyun sürüsü modeli elde etmek zor. Ayrıca gerçek

sürülerin davranışları, Reynolds algoritması benzeri algoritmaların betimlediğinden çok daha karmaşık. Örneğin gerçek sürüler sürekli hareket hâlinde değil. Hayvanlar beslenmek ya da dinlenmek için mola veriyor, yeni beslenme alanları arıyorlar.

Remus86 / iStock

Paris'teki Cergy Üniversitesinden Fernando Peruani ve arkadaşları, sadece birkaç bireyden oluşan Merino Arles türü ufak koyun sürülerini gözlemleyerek bir model oluşturdu. Büyük bir arazide serbestçe dolaşan koyunların zamanlarının büyük kısmında otladıkları görüldü. Ancak koyunlar sık sık bir çizgi hâlinde dizilerek dolanmaya başlıyor. Koyunlar dolanırken en öndeki birey lider rolünü üstleniyor. Ancak liderlik rolü sürüdeki bir koyunun tekelinde değil. Otlayan koyunlardan herhangi biri dolanmaya başladığında geçici olarak eşitler arasında birinci konumuna geliyor. Ta ki sürü yeniden bir yerde durup otlamaya başlayana kadar. Araştırmacılar, liderlik rolünün süredeki koyunlar arasında sürekli el değiştirmesinin bilgi paylaşımı ve birikimi sağladığı ve böylece uzun müzakerelere gerek kalmadan da farklı bireylerin sahip olduğu farklı bilgilerin karar alma sürecine katkıda bulunduğu hipotezini öne sürüyor.

Peruani ve arkadaşlarının geliştirdiği modelde sürüdeki herhangi bir koyun, olasılıklar dâhilinde otlamayı bırakıp dolanmaya başlayabiliyor. Koyunlardan herhangi biri yürümeye başladığında diğerleri de onu takip etmeye başlıyor. Modeldeki sanal koyunlar arasında sürünün bir arada kalmasını sağlayan bir çekici kuvvet tanımlanıyor. Sistem "otlama fazından" "yürüme fazına" geçtiğindeyse koyunlar hızlarını ve doğrultularını yakınlarındaki diğer koyunlara göre ayarlıyor.

Peruani ve arkadaşlarının yaptığı simülasyonlarda sürüler, koyunların kümelenmiş bir hâlde bulundukları otlama fazıyla çizgi hâlinde hareket ettikleri yürüme fazı arasında aralıklı olarak geçiş yapıyor. Araştırmacıların yaptığı hesaplar, liderlik rolünün olasılıksal olarak sürekli el değiştirmesinin iddia ettikleri gibi etkin bir biçimde bilgi paylaşımı sağladığını gösteriyor. Bu deneysel ve kuramsal çalışmalar az sayıda koyun içeren ufak sürülerle sınırlıydı. Ancak gözlemler "liderini takip et" tarzı hareket etmenin daha büyük sürülerde de var olduğunu gösteriyor. Fakat hareket hâlindeki büyük sürülerde aynı anda birden fazla çizgi görülebiliyor.

Çoban Köpekleri

Çobanlar, koyun sürülerini gütmek için çoğu zaman çoban köpeklerinden yardım alır. Çoban köpeklerinin görevi basit, azımsanacak bir iş değildir. Bir çoban köpeğinin arazide görev yapmaya başlamadan önce birkaç ay eğitimden geçmesi gerekir.

Eduard_Photography / iStock

Harvard Üniversitesinden makine mühendisi Lakshminarayanan Mahedevan'a göre çoban köpeklerinin yaptığı iş esasen kontrol teorisiyle alakalı bir problem: Bir koyun sürüsü bir noktadan bir başka noktaya verimli ve doğru bir biçimde nasıl yönlendirilebilir?

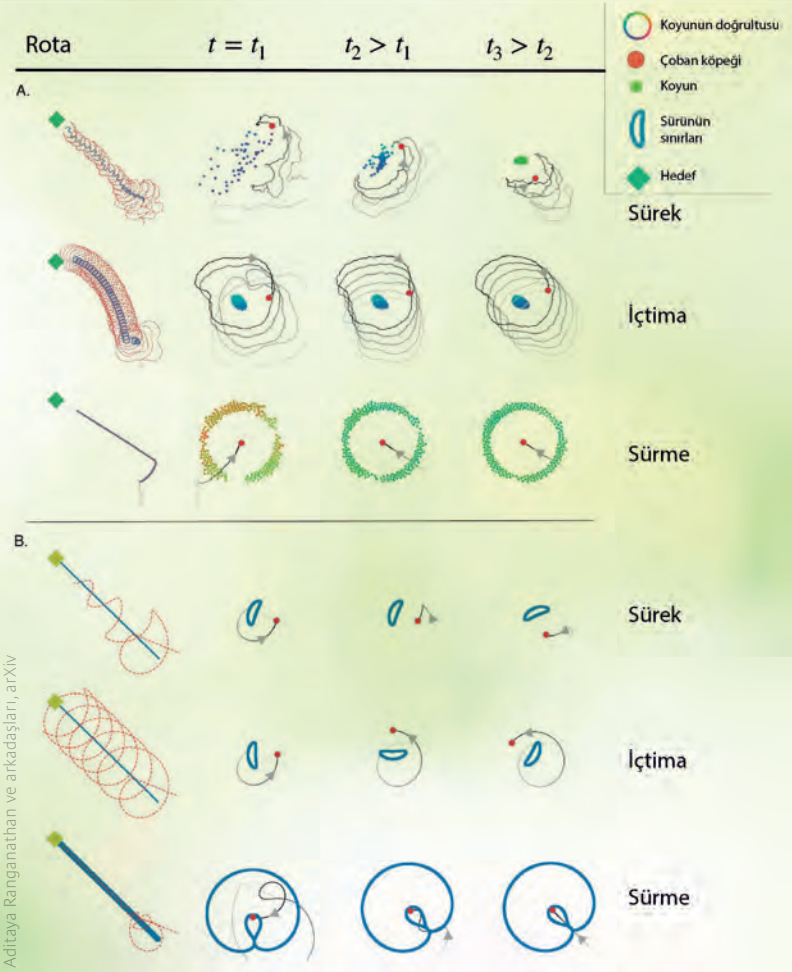
Mahedevan ve arkadaşlarının yaptığı araştırmalar, çoban köpeklerinin yerine getirdiği karmaşık görevin de basit bir modelle betimlenebileceğini gösterdi. Araştırmacılar, ilk olarak gözlemler yoluyla nasıl bir model oluşturulması gerektiği hakkında bir fikir edinmeye çalıştı. Sonuçta çoban köpekleri ve koyun sürüleri arasındaki ilişkinin temelinde iki ana etkenin olduğu sonucuna vardı. Birincisi, koyunlar sürü içinde yaşamanın avantajları nedeniyle bir arada kalmayı sever. İkincisi, koyunlar çoban köpeklerini sevmez. Başka bir deyişle koyunlar arasında "çekim", koyunlarla çoban köpekleri arasındaysa "itme" vardır.

Araştırmacılar iki ayrı model geliştirdi. Bu modellerin birinde koyun sürüsü çok sayıda koyundan oluşan karmaşık bir yapı, diğerinde ise tek bir bütün olarak ele alınıyor. Araştırmacıların diferansiyel denklemlerle formüle ettiği iki modeli kullanarak yapılan simülasyonlar, bir çoban köpeğinin bir koyun sürüsünü bir noktadan başka bir noktaya başarılı bir biçimde götürebilmesinin ya da götürememesinin iki etkene bağlı olduğunu gösteriyor: sürünün büyüklüğü ve çoban köpeğin hareket hızı.

Simülasyonlar sürünün büyüklüğüne ve çoban köpeğinin hareket hızına bağlı olarak dört ayrı durumun ortaya çıkabileceğini gösteriyor. Bu durumlardan birincisi çoban köpeğinin sürüyü yönlendirmeyi başaramaması. Bu durum sürünün görece büyük, köpeğin hızınınsa görece yavaş olması hâlinde ortaya çıkıyor.

Fetung / iStock

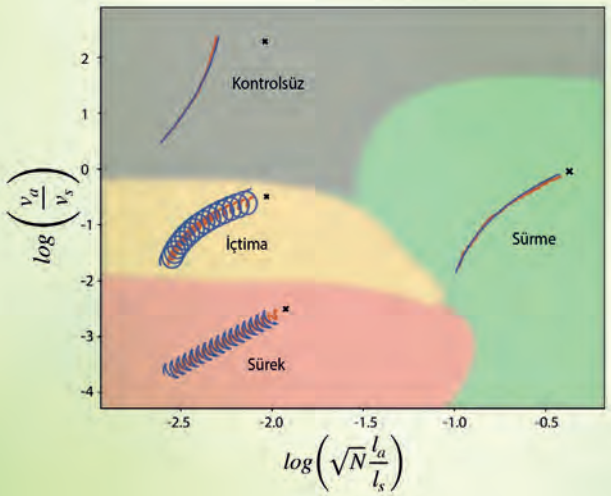
Simülasyonlara göre bir çoban köpeğinin bir sürüyü başarılı bir biçimde yönlendirmesinin üç ayrı yolu var. Sürek olarak adlandırılan birinci yöntemde köpek, sürünün iki ucu arasında ileri geri koşarak koyunları gitmeleri istenen noktaya doğru yönlendiriyor. Sürünün görece küçük, köpeğinse hızlı olması durumundaysa daha iyi bir yöntem var. İçtima olarak adlandırılan bu ikinci yöntemde çoban köpeği, sürünün etrafında heliks benzeri bir rota takip ederek koşuyor. Bu sırada sürünün şekli kendi etrafında dönen bir elips gibi sürekli değişiyor. Sürek ve içtima yöntemlerinin her ikisi de arazide çoban köpekleri tarafından koyun sürülerini gütmek için kullanılan yöntemler. Simülasyonlar, bu iki yönteme ek olarak arazide gözlemlenmeyen üçüncü bir strateji daha olduğunu gösteriyor. Sürme olarak adlandırılan bu yöntemde, tıpkı bir sürücünün bir arabayı içeriden idare etmesine benzer biçimde çoban köpeği de sürüyü içeriden idare ediyor. Çoban köpeği sürünün ortasına gidiyor. Koyunlarsa köpekten uzaklaşıyor ancak bir arada kalmak istedikleri için dağılmıyor. Bu yöntemde çoban köpeği sürünün hareket etmesi istenen iki nokta arasında yol alırken koyunlar da köpeğin etrafında bir halka oluşturup köpekle beraber yürüyor. Bu farklı stratejiler bir faz diyagramıyla betimlenebiliyor. Faz diyagramının bir ekseninde sürü büyüklüğü, diğerinde çoban köpeğinin hareket hızı yer alıyor.



Aditaya Ranganathan ve arkadaşları, arXiv

Mahadevan ve arkadaşlarının simülasyonlarına göre bir çoban köpeğinin başarılı bir biçimde bir koyun sürüsünü idare etmesinin üç ayrı yolu var: sürek, içtima ve sürme. Sürünün çok sayıda koyundan oluşan karmaşık bir yapı olarak ele alındığı modelin verdiği sonuçlar (üstte) ve sürünün tek bir bütün olarak ele alındığı modelin verdiği sonuçlar (altta).

Geliştirilen model her ne kadar başarılı sonuçlar verse de araştırmacılar bazı eksiklikleri olduğunu da belirtiyor. Örneğin modelde hayvanların her yönü görebildikleri varsayılıyor. Koyunların gözleri, av türü hayvanların genelinde olduğu gibi kafalarının yan tarafında yer alır ve bu nedenle görüş açıları daha geniştir. Köpeklerin gözleriyse avcı türü hayvanların genelinde olduğu gibi kafalarının önünde yer alır ve bu nedenle görüş açıları daha dardır. Araştırmacılar, koyunların ve çoban köpeklerinin bu özelliklerinin de modele dâhil edilebileceğini belirtiyor. Ancak bu değişikliklerin faz diyagramında önemli nitel değişimlere yol açmayacağı düşünülüyor.



Farklı fazların hangi koşullar altında ortaya çıktığını gösteren faz diyagramı. Farklı faz bölgelerindeki örnek rota çizimlerinde sürünün kütle merkezinin konumu kırmızıyla, çoban köpeğinin kütle merkezinin konumu maviyle gösteriliyor.

V_a: Koyunların hızı
V_s: Köpeğin hızı
N: Sürüdeki koyun sayısı
l_a: Koyunların büyüklüğü
l_s: Köpeklerin etkileşim mesafesi

Koyun sürülerinin davranışlarını modellemeye çalışırken göz önünde bulundurulması gereken etkenlerden biri de koyunların farklı koşullar altında farklı davranışlar göstermesi. Örneğin bir koyun tek başına olduğunda genellikle köpekten kaçar. Sürülerdeki koyunlarsa genellikle daha bencil davranır: Sürünün dış kısmındaki koyunlar daha iç kısımlara gitmeye ve böylece daha dışta kalan koyunları bir kalkan olarak kullanmaya çalışır. Daha da önemlisi bu genel davranış tipinin tüm koyunlar için geçerli olmaması, koyunların çok farklı karakterlere sahip olabilmesi. Bazı koyunlar köpek gördüğünde kolaylıkla paniklerken bazı koyunlarsa hiç umursamayabiliyor ve hatta köpeğe karşı durabiliyor.

Georgia Teknoloji Enstitüsünden kimya mühendisi Tuhin Chakrabortty ve biyomoleküler mühendis Saad Bhamla, koyunların farklı karakterlerini de göz önünde bulunduran bir model geliştirdi. Araştırmacılar daha uysal koyunları "hafif" koyunlar, daha agresif koyunlar ise "ağır" koyunlar olarak adlandırıyor.

Fernuy / iStock

Charabortty ve Bhamla'nın simülasyonlarına göre sürünün davranışı, büyük oranda hafif koyunlardan mı yoksa ağır koyunlardan mı oluştuğuna bağlı olarak değişiyor. Simülasyonlardaki sürüler, çoban köpeğinin baskısına maruz bırakıldığında üç ayrı durum gözlemlenebiliyor. Birincisi, koyunlar düzensiz bir biçimde hareket etmeye başlıyor ve panikleyen koyunlar etrafa dağılıyor. İkincisi, koyunlar bir araya gelerek kümeleniyor. Üçüncüsü, koyunlar yüzlerini köpeğe doksan derece dönüp umursamadan otlamaya devam ediyor. Bu davranış biçimleri de yine bir faz diyagramıyla özetlenebiliyor.

Hayvan sürülerinin dinamiklerini modellemek için yapılan çalışmalarda biyolojik sistemlerin karmaşıklığının yerini fiziksel sistemlerin basitliği alıyor. Sanal hayvanların hareketlerinin basit birkaç fiziksel kuralla tanımlandığı bu modeller, karmaşık sistemler için başarılı sonuçlar da verebiliyor.

Son zamanlarda üzerine yoğunlaşılan konulardan biriyse koyun sürülerinin dinamiklerini modellemek. Bugüne kadar geliştirilen modeller hem doğada gözlemlenen süreçleri başarılı bir biçimde simüle edebiliyor hem de koyun sürülerinin farklı davranışlarının hangi koşullar altına ortaya çıktığının anlaşılmasına yardımcı oluyor. Gelecekte bir gün geliştirilen algoritmaların koyun sürülerini güden robotlar ya da insansız hava araçları gibi cihazların geliştirilmesine imkân vereceği umut ediliyor. Koyunlar gibi farklı kişiliklere sahip, hangi koşullar altında hangi tepkiyi vereceği kolayca tahmin edilemeyen canlılardan oluşan sürülerin basit birkaç fiziksel kuralla hareket eden teknolojik cihazlar tarafında kontrol edilmesinin gerçekten de mümkün olup olmayacağını zaman gösterecek. ■

Kaynaklar

Ball, Phillip, "Field work – the physics of sheep, from phase transitions to collective motion", Physics World, https://physicsworld.com/a/field-work-the-physics-of-sheep-from-phase-transitions-to-collective-motion/, 2024.

Ranganathan, A., ve ark., "Emergent Strategies for Shepherding a Flock", arXiv, https://arxiv.org/abs/2211.04352, 2024.

Czirók, A., ve ark., "Collective Motion of Self-Propelled Particles: Kinetic Phase Transition in One Dimension", *Physical Review Letters*, Cilt 82, s. 209, 1999.

Czirók, A., ve ark., "Spontaneously ordered motion of self-propelled particles", *Journal of Physics A: Math. Gen.*, Cilt 30, s. 1375, 1997.

Gómez-Nava, L., ve ark., "Intermittent colletive motion in sheep results from alternating role of leader and follower", *Nature Physics*, Cilt 18, s. 1494, 2022.

Bhamla, S. Ve Chakrabortty, T., "Controlling noisy herds", arXiv, https://arxiv.org/abs/2406.06912v1, 2025.

BİLİM TARİHİNDEN NOTLAR

Prof. Dr. Hüseyin Gazi Topdemir
[*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Felsefe Bölümü, Bilim Tarihi Anabilim Dalı*

Ptolemaios'un Bilimsel Çalışmaları I

Antik ve Orta Çağ gök biliminin en etkili ismi olan Claudius Ptolemaios, Antik Yunan dünyasının bilim ve felsefe alanlarında kazandığı önemli başarıların giderek azalmaya başladığı bir zaman diliminde, Geç İskenderiye Dönemi'nde yaşamasına karşın geometri, optik, coğrafya ve gök bilimi konularında etkileri yüzlerce yıl süren eserler kaleme almış önemli bir bilim insanıdır. Hayatı hakkında İskenderiyeli olduğunun dışında neredeyse hiçbir bilgi bulunmaz. İslam dünyasında Batlamyus olarak tanınır. Yaptığı gökyüzü gözlemlerine dayanılarak hangi yıllar arasında yaşadığını belirlemek için kapsamlı çalışmalar yürütülmüştür. Bu bağlamda en çok kabul gören tarihlendirmeye göre M.S. 100 ile 175 yılları arasında yaşadığı tahmin edilir. Bilimsel ve kültürel birikimini İskenderiye'nin zengin entelektüel ortamında edinen Ptolemaios'un yukarıda belirtilen konularda kaleme aldığı eserlerinin her biri "büyük sentez" olarak nitelendirilir. Özellikle gök bilimi başta olmak üzere optik ve coğrafyanın belirli yasalar üzerine dayandırılmış bilim dalları hâline gelmesine öncülük etmiştir. Çeşitli bilim dallarıyla ilgilense de çalışmalarını temel olarak gök bilimi konusunda yoğunlaştırmıştı. Bu bakımdan Antik Yunan gök biliminin son büyük temsilcisidir. Kendi gözlemlerine ve önceden tutulmuş gözlem kayıtlarına dayanarak detaylı bir yıldız kataloğu hazırlamıştır. Tanınırlığını gök bilimi tarihinin başyapıtlarından biri olarak kabul edilen *Almagest* adlı çalışmasıyla kazanmıştır.

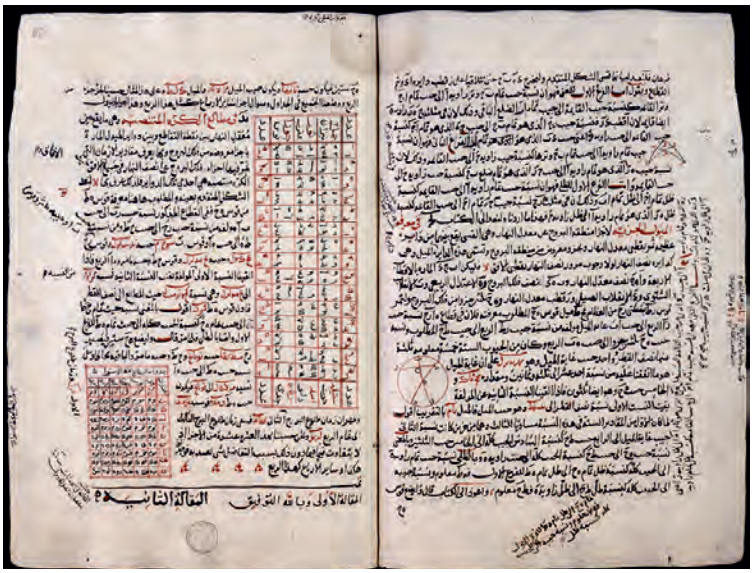
Wikipedia

Claudius Ptolemaios (Batlamyus)

Megala Syntaxis, Almagest

Hem bir gök bilimci hem de bir gök bilimi tarihçisi olan Ptolemaios, zamanına ulaşan bilgileri analitik bir biçimde ele alarak ve kendi tespitleriyle birleştirerek gök bilimi tarihinin seçkin örneklerinden biri olan *Matematik Derlemesi* (Grekçesi *Mathematike Syntaxis*) başlıklı kitabını hazırlamıştır. Kitap, içeriğinin zenginliği, gezegen hareketlerinin geometrik modellere dayalı olarak açıklandığı anlaşılır anlatımı ve kapsamlı yıldız açıklamaları nedeniyle bilim dünyasında *Büyük Derleme* (*Megale Syntaxis*) olarak anılmaya başlandı. Arapçaya *el-Mecisti* şeklinde çevrilen kitap, modern dönemde batı dillerine Arapça söylenişine bağlı kalınarak *Almagest* biçiminde çevrildiği için artık bu adla bilinir.

Almagest'in düşünce tarihinde birkaç önemli etkisi söz konusudur: 1) 1.300 yıldan fazla bir süre boyunca Doğu'da ve Batı'da ders kitabı olarak kullanılmıştır. Geç Antik Dönem'de İskenderiye'dekiler başta olmak üzere Atina ve Antakya'daki okullarda ileri düzey eğitim alan öğrenciler için standart bir gök bilimi ders kitabı olarak okutulduğu, ünlü matematikçi İskenderiyeli Pappus'un (290-350) ve İskenderiyeli Theon'un (335-405) günümüze ulaşan yorumlarından anlaşılır. 2) Yazılışından önceki dönemlerin gök bilimi kuramları ve gözlemleri hakkında bilgi veren kapsamlı tarihsel bir kaynaktır. Mesela Apollonios'un dış merkezli ve çember merkezli evren modelleri ile Hipparkhos'un gök bilimi kuramı ve yıldız kataloğu hakkında detaylı bilgi bulunan tek kaynaktır. 3) 16. yüzyıla kadar geliştirilen bütün astronomi kuramlarına kaynaklık yapmıştır.



By Ptolemy - The Bodleian Library, University of Oxford, CC BY 4.0,

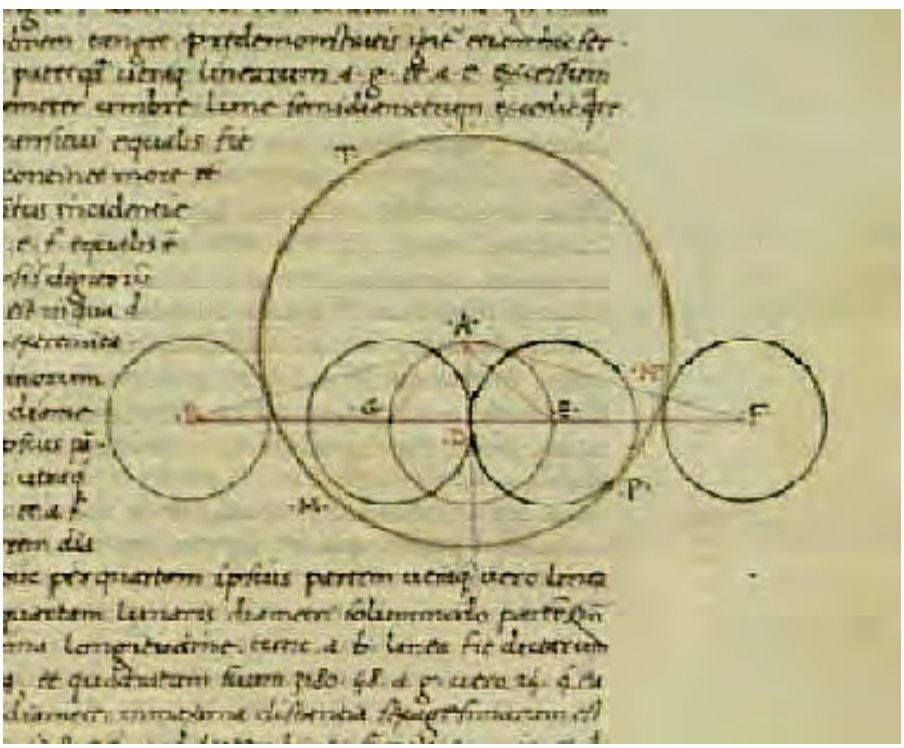
Almagest'in Arapça çevirisi

Bilim tarihinde bu denli etkin olan başka bir kitap söz konusu değildir. Bu durumu kitabın farklı dillere defalarca çevrilmesi de teyit etmektedir. 8. yüzyılın sonlarından başlayarak 9. yüzyıl boyunca İslam dünyasında Yunan bilim eserlerine karşı ilginin artmasıyla birlikte *Almagest* önce Süryaniceye sonra da birkaç kez Arapçaya çevrilmiş daha sonra bu çeviriler, ünlü çevirmen Huneyn İbn İshak (810-873) ve büyük geometrici Sabit İbn Kurra (821-901) tarafından gözden geçirilerek yayımlanmıştır. Günümüze birkaç örneği kalmış olan bu çevirilerden kitabın başlığının *el-mcsty* olarak verildiği görülür. Bu adlandırma, Grekçe en

büyük anlamına gelen *megala* ifadesinden türetilmiştir. Orta Çağ'da Latinceye çevrilirken *almagesti* veya *almagestum* biçiminde yazılmış, modern dönemdeki yazılışı *Almagest* de bu adlandırmadan türetilmiştir. Bu çeviri süreci kitabın Grekçe nüshasına dayalı çevirilerin yapıldığı Doğu Roma İmparatorluğu Dönemi'nde de devam etmiştir. Bununla birlikte *Almagest*'in tam nüshasının Batı'ya ulaşması Cremonalı Gerard'ın (1114-1187) Toledo'da Arapçadan yaptığı ve 1175'te tamamladığı çeviri üzerinden olmuştur. El yazması özgün Grekçe metin ise ancak 16. yüzyılda Basel'de Hervagius tarafından basılmıştır (1538). Bu tarihten sonra Tycho Brahe'nin (1546-1601) ve John Kepler'in (1571-1630) çalışmalarının gölgesinde kalarak önemini kaybetmiş, Mikolaj Kopernik'in (1473-1543) güneş merkezli evren modeli öne çıkmaya başlamıştır.

Almagest'in İçeriğinin Özeti

Ptolemaios, *Almagest*'i 13 bölüm (her bir bölüm kitap olarak isimlendirilir) hâlinde düzenlemiştir: Birinci bölümü, yer merkezli evren modelinin anlatımına ve bu modeli neden geçerli olarak kabul ettiğinin gerekçelerine ayırmıştır. İkinci bölümde geometrinin önemli temsilcilerinden İskenderiyeli Menelaos (70-140) tarafından geliştiren ve kendi adıyla anılan Menelaos teoreminin anlatımına, küresel astronomi hakkında temel bilgilere, çeşitli örnek problem çözümlerine ve bir kirişler tablosuna yer vermiştir. Üçüncü bölümde Güneş'in hareketi, ekinoks noktaları, yılın uzunluğu; dördüncü bölümde ise Ay'ın hareketi üzerinde durmuştur. Beşinci bölümü ise üçüncü ve dördüncü bölümlerin devamı olarak hazırlayan Ptolemaios, burada Ay'ın ve Güneş'in Yer'e uzaklıklarına ilişkin bilgiler vermiş ve bir gözlem aracı olan usturlabın nasıl yapılacağına ve kullanılacağına ilişkin ayrıntılı bilgiler sunmuştur. Altıncı bölüm gezegenlerin karşı ve kavuşum pozisyonlarına, Güneş ve Ay tutulmalarına ayrılmıştır. Sabit yıldızlara ayırdığı yedinci ve sekizinci bölümlerde ekinoksların presesyonu konusunu tartışmış, sabit yıldızlar kataloğunu açıklamış, ayrıca gök kubbeyi temsil edecek bir aletin nasıl yapılabileceğini, bunun için kullanılacak yöntemi ve diğer gerekli bilgileri açıklamıştır. Geriye kalan beş kitap ise gezegenlerin (Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn) hareketlerinde gözlemlenen düzensizliklerin açıklanmasına tahsis edilmiştir ki kitabın en özgün kısmı burasıdır.



Almagest'in Latince çevirisi (George Trebizond, 1451)

Ptolemaios'un Evren Tasarımının İlkeleri

Ptolemaios, *Almagest*'in ilk bölümünde kendi evren tasarımını dayandırdığı temel ilkeleri özetlemiştir. Buna göre:

1) Gök kubbe küreseldir ve bir küre gibi döner. Çünkü Güneş, Ay ve diğer yıldızlar doğudan batıya doğru her zaman birbirine paralel daireler boyunca hareket ederken sanki Yer'in altından çıkarak doğar ve batarlar. Buna karşın doğma ve batma yerleri sabit ve aynı kalır.

2) Yer de bir küredir. Eğer öyle olmasaydı Güneş, Ay ve diğer yıldızlar, Yer'in üzerinde farklı konumlarda yaşayan insanlar için aynı anda doğup batardı. Oysa doğuya doğru olan gök cisimleri daha erken, batıya doğru olanlar ise daha geç doğar ve batar.

3) Yer, evrenin merkezindedir. Böyle olmasaydı Yer şu üç durumdan birinde bulunurdu: a) Evrenin ekseni (evrenin kutuplarını birleştiren hayali çizgi) üzerinde değil ama her iki kutbuna eşit uzaklıkta, b) Eksen üzerinde ama kutuplardan birine daha uzakta, c) Ne eksen üzerinde ne de her iki kutuptan eşit uzaklıkta.

4) Yer, sabit yıldızlar küresine olan uzaklıklara kıyasla bir nokta olarak düşünülebilir. Bunun kanıtlarından biri herhangi bir zamanda yıldızların büyüklüklerinin ve uzaklıklarının Dünya'nın her yerinden eşit ve aynı görünmesidir. Çünkü aynı gök cisimlerinin farklı enlemlerden yapılan gözlemlerinde birbirlerinden en küçük bir farklılık olmadığı belirlenmiştir.

5) Yer durağandır. Eğer böyle olmasaydı tüm nesneler merkeze doğru düşmezdi. Bu ilkeleri sıraladıktan sonra Ptolemaios, bunların öncelikle belirli gök olaylarının anlaşılabilmesi ve modellenebilmesi için gerekli olduğunu ve kitabının ilerleyen sayfalarında ileri süreceği teoremlerin bu olgularla olan uygunluklarının gösterilmesiyle doğru ve geçerli olduklarının görüleceğini belirtir.

Gelecek sayımızda Ptolemaios'un çalışmalarını ele almaya devam edeceğiz.■

Wikimedia Commons, Public Domain,

Kaynaklar

Dreyer, J. L. E., *A History o f Astronomy from Thales to Kepler*, (Second Edition), Dover Publications, Inc. 1953.
Ptolemaios, *Ptolemy's Almagest, Translated and Annotated:* G. J. Toomer, New Jersey: Princeton University Press, 1998.
Toomer, G. J., "Introduction", *Ptolemy's Almagest, Translated and Annotated:* G. J. Toomer, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1998.

PERİBACALARI

Prof. Dr. Raif Kandemir [*Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü*

Peribacaları, farklı sertliklere sahip kayaların farklı oranlarda aşınması sonucunda oluşan sütun, silindir, koni ve mantar görünümlü yer şekilleridir. Bu yapıların daha sert kısımları peribacalarının şapka kısmını oluştururken yumuşak kısımları ise şapkanın altındaki boyun ve gövde kısımlarını meydana getirir. Bulundukları bölgelerin kültürel ve coğrafi özellikleri nedeniyle peribacalarının görünümleri, dünyanın birçok yerinde mistik hikâyelerle anılır ve farklı isimlerle adlandırılır. Dünyanın farklı bölgelerinde bu oluşumlar için "baca kayaları, çadır kayası, taş ormanı, mantar kayaları" gibi farklı isimler kullanılır. Son yıllarda bu oluşuklar üzerine yapılan bilimsel çalışmalarda bu yapılar "peribacası" olarak adlandırılır.

Peribacalarının oluşumu, içlerinde geliştikleri kayaçların türü, tabakalanma özellikleri ve sertlik derecelerindeki farklılıklar; kayaçların içinde çeşitli nedenlerle oluşan çatlak sistemlerinin yönelimi; günümüzdeki ve geçmişteki iklim koşulları; arazinin eğim özellikleri; yüzey sularının yoğunluğu gibi birçok doğal faktörden etkilenir. Peribacalarının oluşumu bir yamaçtaki erozyon süreçleriyle doğrudan ilişkili olduğu için, çoğunlukla eğimli yamaçlarda görülürler. Eğimli yamaçlardaki peribacalarının oluşma sıklığı üzerinde sel sularının önemli bir etkisi bulunur. Sel kanallarının konumu ve sıklığı ise yağış miktarı ve şiddeti, ana kayadaki çatlakların yönelimi ve sıklığı gibi faktörlere bağlıdır. Çatlaklar boyunca hareket eden yağmur suyu, ana kaya içerisinde fiziksel ve kimyasal ayrışmayı hızlandırır, kayaçtan ayrışan materyali ortamdan uzaklaştırırken kayanın şekillenmesini sağlar.

Erozyon koşullarının etkisinin yanı sıra erozyona uğrayan yamaçtaki tabakaların kalınlığı ve sertlik derecelerindeki farklılıklar, peribacalarının morfolojileri ve şekilleri üzerinde etkilidir. Örneğin farklı dirençlere sahip tabakalar üst üste yer aldığında şapkalı peribacaları oluşurken kalın ve homojen bir yapıya sahip tabakaların bulunduğu alanlarda şapkasız peribacaları gelişebilir. Bunların yanı sıra rüzgâr koşulları, donma-çözülme sıklığı, ana kayadaki liken örtüsü, kayaçlardaki minerallerin oksidasyonu sonucu oluşan yapılar, ana kayadaki kayaçların bir arada kalmasını sağlayan mineraller, akarsulardaki seviye değişiklikleri, sıcak buhar çıkışları gibi koşullar da peribacalarının oluşumu ve morfolojisi üzerinde etkili olan diğer faktörlerdir. Peribacası oluşumunda çok sayıda faktörün etkili olması, bu yer şekillerinin zengin bir çeşitliliğe sahip olmasına neden olur. Ülkemiz, sahip olduğu jeolojik, topografik ve iklimsel çeşitliliğinin bir sonucu olarak peribacası oluşumları açısından oldukça zengindir. ■

ArdaAdnanKalkan / iStock

Kapadokya, Nevşehir

Kaynak

Öztürk, M. Z., Özkan, D., & Şimşek, M., Kapadokya Bölgesinin Drenaj Özellikleri, *Journal of Geography* (38), 23-34., 2019. https://doi.org/10.26650/JGEOG2019-0002

Gökyüzü

Dr. Tuba Sarıgül
[*TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

Mars, Ay ve Regulus Bir Arada

Haziran ayının başında Merkür ve Jüpiter Güneş'in batışından hemen sonra ufkun üzerinde görülebilirken Mars gece yarısına kadar gökyüzünün hâkimi oluyor. Şafak vakti gökyüzünde olan Venüs ve Satürn ayın ilk günlerinde ufka son derece yakınken Satürn ilerleyen günlerde ufkun üzerinden hızla yükseliyor. Kuzey yarım küre için yaz gün dönümü 21 Haziran'da gerçekleşiyor.

Mars

Mars, haziran ayının başında Güneş'in batışından sonra güneybatı-batı yönünde ufkun yaklaşık 45 derece üzerinde ortaya çıkıyor ve gece yarısından yaklaşık bir saat sonra batı-kuzeybatı yönünde ufuktan batıyor. Mars'ın ufkun üzerinden yüksekliği ve görünür parlaklığı her geçen gün azalıyor.

Haziran ayı boyunca Aslan Takımyıldızı'nda bulunan Mars, 17 Haziran'da takımyıldızın en parlak yıldızı Regulus ile birbirine çok yakın görülebiliyor.

29 Haziran'da ise Mars'ı ve hilal şeklindeki Ay'ı batı yönünde ufkun üzerinde birbirine son derece yakın görebilirsiniz. Bu tarihte Regulus da gökyüzünde bu ikiliye katılıyor ve Mars, Ay ve Regulus gökyüzünde hayali bir doğru üzerinde sıralanmış gibi görülebiliyor.

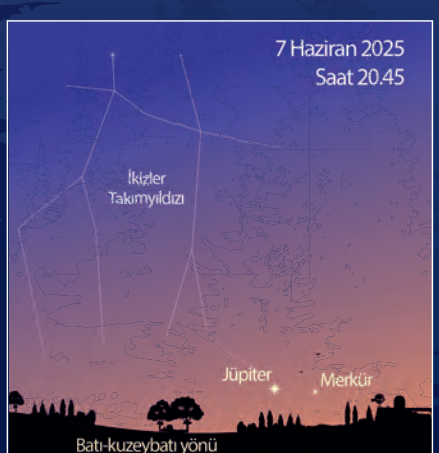
Jüpiter

Mayıs ayının sonunda ufkun üzerinden yüksekliği iyice azalan Jüpiter, haziran ayının ilk günlerinde alçalmaya devam ediyor ve gökyüzünde görülebileceği süre iyice kısalıyor. 24 Haziran'da kavuşum konumundan geçmeye hazırlanan Jüpiter, Dünya'ya göre Güneş'in arkasından geçtiği bu konuma yakın olduğu dönemde birkaç hafta boyunca gözlemlenemiyor. Jüpiter, temmuz ayının ilk haftasından sonra gün doğumunda tekrar ortaya çıkıyor.

7 Haziran'da Güneş'in batışından hemen sonra Jüpiter'i ve Merkür'ü batı-kuzeybatı yönünde ufkun üzerinde birbirine yakın görmeyi deneyebilirsiniz. Ancak iki gök cismi de ufkun üzerinden çok yükselmediği için yüksek bir konumda ve açık bir ufukta gözlem yapmak gerekiyor.

Merkür

Mayıs ayında gün doğumundan önce gökyüzünde görülebilen Merkür, ayın sonunda Dünya'ya göre Güneş'in arkasından geçmişti. Üst kavuşum olarak isimlendirilen bu konumdan sonra gökyüzünde Güneş'in doğusuna geçen Merkür, haziran ayının ilk haftasından itibaren gün batımından sonra kuzeybatı yönünde ufkun üzerinde tekrar ortaya çıkmaya başlıyor. Ayın ilerleyen günlerinde ufkun üzerinden yüksekliği artan Merkür'ün parlaklığı ise azalıyor.



Ayın başında Boğa Takımyıldızı'nda bulunan Merkür, ilerleyen günlerde Zodyak Kuşağı'nı takip ederek İkizler Takımyıldızı'na geçiyor, ay sonunda ise Yengeç Takımyıldızı'na doğru hareket ediyor.

27 Haziran akşamı Merkür'ü, hilal şeklindeki Ay ile birlikte batı-kuzeybatı yönünde ufkun üzerinde görebilirsiniz.

Satürn

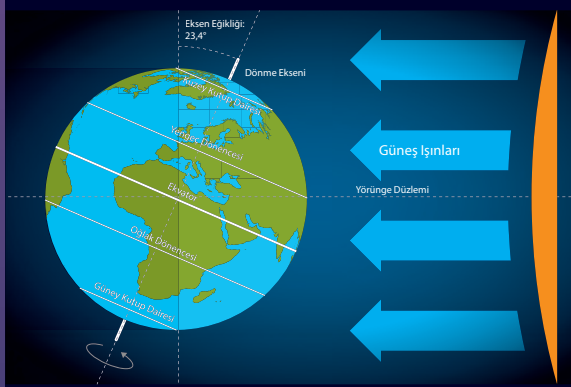
Haziran ayında Güneş'in doğuşundan önce gökyüzünde görebileceğiniz gezegenlerden biri Satürn. Satürn, ayın ilk günlerinde Güneş'ten yaklaşık üç saat önce, doğu yönünde ufuktan doğuyor. Ayın ilerleyen günlerinde daha erken doğmaya başlayan Satürn'ün parlaklığı her geçen gün artıyor. 19 Haziran gecesi Satürn'ü ve Ay'ı, doğu-güneydoğu yönünde ufkun üzerinde birbirine yakın görebilirsiniz.

Venüs

Venüs, 1 Haziran'da en büyük batı uzanımı konumundan geçiyor. Gökyüzünde Güneş ile aralarındaki açısal mesafenin en yüksek olduğu bu tarihten bir gün sonra ise Venüs'ün aydınlık görünen kısmının oranı %50'ye ulaşıyor.

Venüs, haziran ayında Güneş'ten yaklaşık iki saat önce kuzeydoğu-doğu yönünde ufuktan doğuyor ve Güneş'in aydınlığında kaybolmadan önce ufkun üzerinde en yüksek noktaya ulaşıyor.

22 Haziran sabahı Venüs ve Ay doğu yönünde, ufkun üzerinde birbirine yakın görünümde. Ayın son günlerinde gökyüzünde Boğa Takımyıldızı'na doğru hareket eden Venüs, Ülker Açık Yıldız Kümesi ile birbirine yakın görülebilir.



Yaz Gün Dönümü

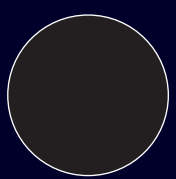
21 Haziran'da yaz gün dönümü gerçekleşiyor. Kuzey yarım küre için astronomik olarak yaz mevsiminin başlangıcı kabul edilen bu tarihte, Güneş ışınları Yengeç Dönencesi'ne dik açıyla gelir.

İlk dördün
3 Haziran
Saat: 06.41

Dolunay
11 Haziran
Saat: 10.43

Son dördün
18 Haziran
Saat: 22.19

Yeni ay
25 Haziran
Saat: 13.31

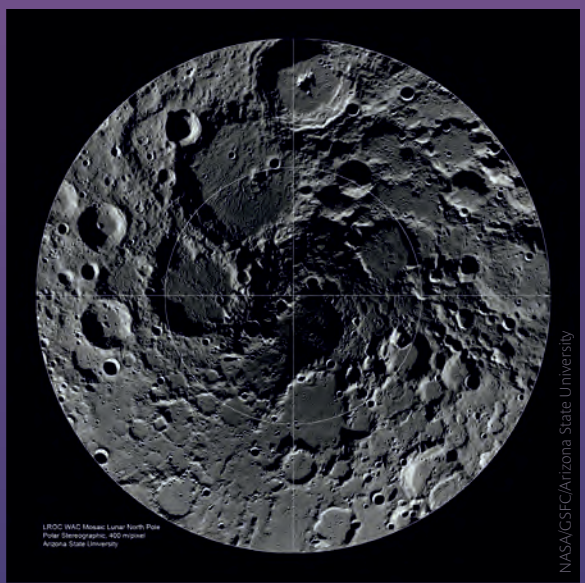


Yeröte
7 Haziran Saat: 13.43
405.554 km

Yerberi
23 Haziran Saat: 07.44
363.178 km

Ay Kraterleri

Güneş sisteminde birçok gök cisminin yüzeyinde çarpma kraterleri bulunsa da Ay kraterleri bunlar arasında özel bir yere sahiptir. Çünkü Güneş sisteminin nasıl oluştuğu ve zaman içinde geçirdiği değişimler hakkında tarihi kayıt niteliğinde bilgiler sunar. Gök taşlarının Ay'ın yüzeyine çarpması sonucu oluşan kraterler, çok ince bir atmosferi olan ve sıvı hâlde su barındırmayan Ay'da, rüzgâr ve yağış gibi nedenlerle fiziksel, kimyasal ve morfolojik olarak çok fazla değişime uğramaz. Ayrıca Ay, Dünya'ya en yakın gök cismi olduğundan yüzeyindeki kraterlerinin incelenmesi görece daha kolaydır.

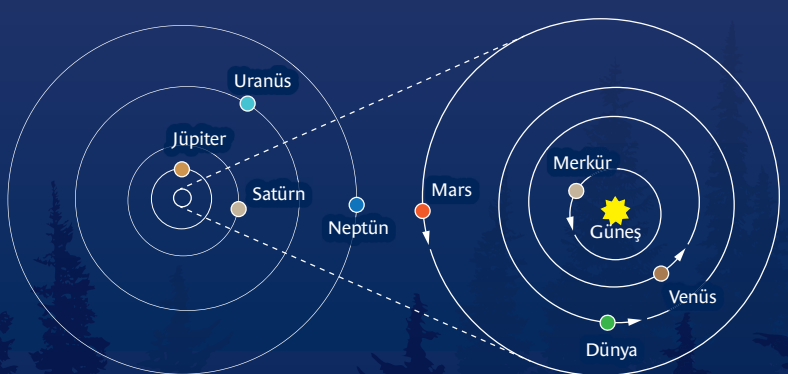


Bilim insanları, Ay'ın yörüngesinde dolanan uzay araçları, yüzeyine inen kondular ve üzerinde gezen keşif araçları yardımıyla kraterlerle ilgili araştırmalar yürütüyor. Örneğin NASA'nın Lunar Reconnaissance Orbiter uzay aracı tarafından kaydedilen görüntüler, Ay'ın yüzeyinde kraterlerin oluşmaya devam ettiğini gösteriyor. Ay'ın yüzeyine inen ilk ticari uzay aracı olan Blue Ghost kondusu ise Ay'ın kuzeydoğusunda bulunan Mare Crisium bölgesinde görev yapıyor. Mare Crisium, bir gök taşı çarpması sonucu oluşan kraterin zamanla bazalt bileşimindeki lav ile dolmasıyla meydana gelmişti.

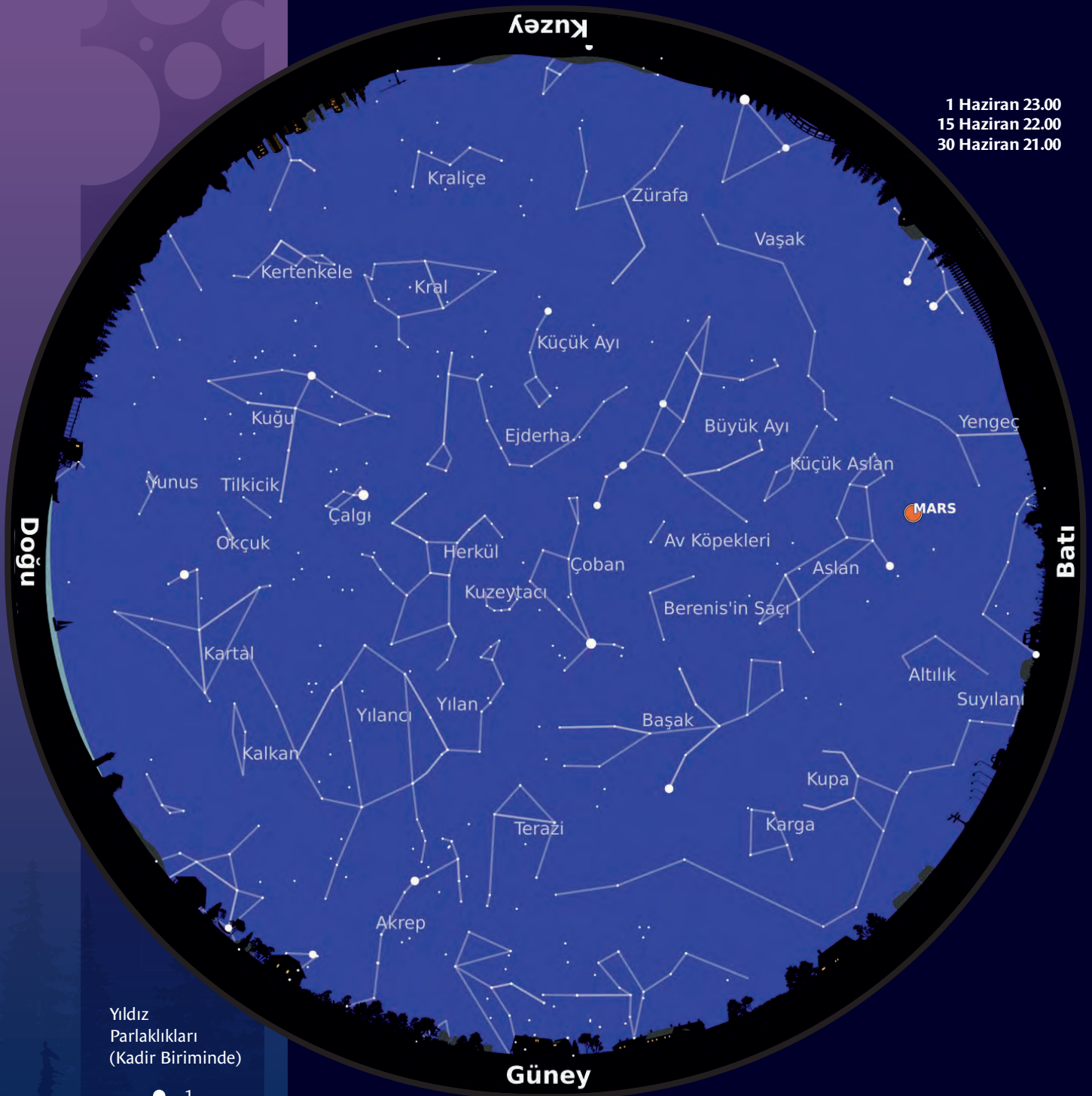
Ayın Önemli Gök Olayları

1 Haziran Venüs, en büyük batı uzanımı konumunda
Ay ve Mars yakın görünümde
2 Haziran Ay ve Regulus yakın görünümde
3 Haziran Ay, ilk dördün evresinde
6 Haziran Ay ve Spika yakın görünümde
7 Haziran Ay, Dünya'ya en uzak konumda
10 Haziran Ay ve Antares yakın görünümde
11 Haziran Ay, dolunay evresinde
17 Haziran Mars ve Regulus yakın görünümde
18 Haziran Ay, son dördün evresinde
19 Haziran Ay ve Satürn yakın görünümde
21 Haziran Yaz gün dönümü
Merkür ve Polluks yakın görünümde
23 Haziran Ay, Dünya'ya en yakın konumda
24 Haziran Jüpiter, kavuşum konumunda
25 Haziran Ay, yeni ay evresinde
27 Haziran Ay ve Merkür yakın görünümde
29 Haziran Ay ve Regulus yakın görünümde
30 Haziran Ay ve Mars yakın görünümde

Haziran Ayında Gezegenlerin Birbirlerine Göre Yörüngelerindeki Konumları



Çizimdeki oklar, Güneş sisteminde yer alan iç gezegenlerin haziran ayında yörüngelerindeki hareketlerini gösteriyor. Dış gezegenlerin yörüngelerindeki konumları, ay içinde birbirine göre çok değişmediği için haziran ayının ortasındaki konumları, çizimde nokta şeklinde belirtilmiştir.



Yıldız Parlaklıkları (Kadir Biriminde)

- - 1
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Kaynaklar

- Okuyan, O. ve Köseoğlu, D. K., "2025 Gök Olayları Yıllığı", *Bilim ve Teknik*, Sayı 686, 2025.
- "Observing October 2024", *Sky and Telescope,* Cilt 149, Sayı 6, 2025.
- Ratcliffe, M. ve Ling, A., "Sky This Month", *Astronomy,* Cilt 53, Sayı 6, s. 28-35, 2025.
- https://science.nasa.gov/moon/lunar-craters/
- https://science.nasa.gov/resource/wrinkle-ridge-in-mare-crisium/
- https://www.nasa.gov/news-release/touchdown-carrying-nasa-science-fireflys-blue-ghost-lands-on-moon/

Düşünme Kulesi

Ferhat Çalapkulu [*dusunme.kulesi@tubitak.gov.tr*

Ayın Oyunu: **Kendoku**

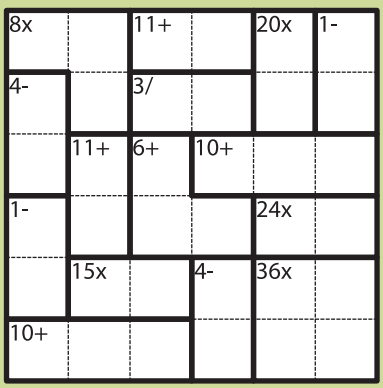
Kendoku Oyununun Kuralları

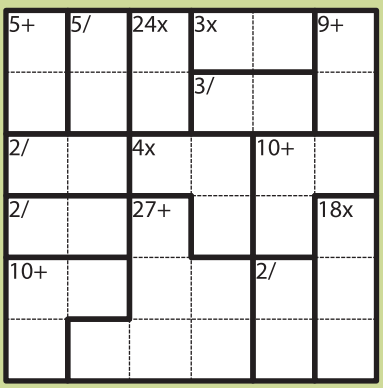
1'den 6'ya (örnek çözümde 1'den 5'e kadar mevcuttu) tüm rakamlar her satırda ve sütunda tam olarak bir kez yer alacak şekilde diyagramı doldurun.

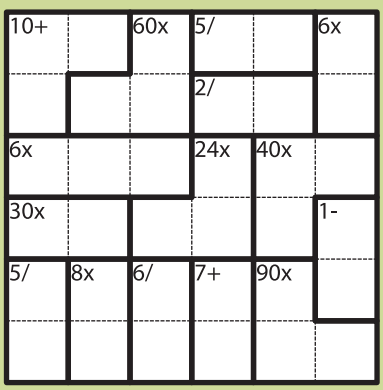
Kalın çizgiyle belirtilmiş her bölgenin sol köşesindeki sayı, o bölgenin içindeki rakamların verilen matematiksel işlem sembolüyle hesaplanmış sonucunu gösterir.

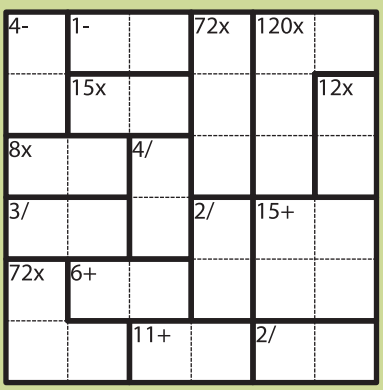
Bir bölgenin içinde rakamlar tekrar edebilir.

Bölme işareti için " / " kullanılmıştır.

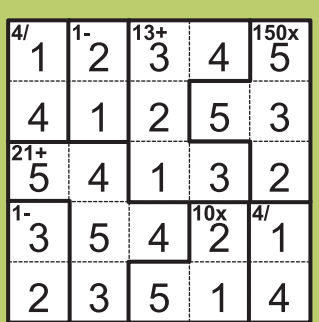






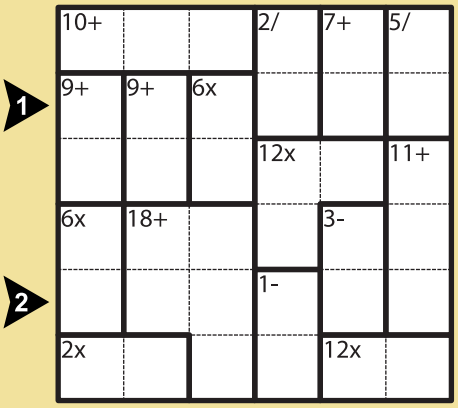


Kendoku - Örnek Çözüm



Ödüllü Soru

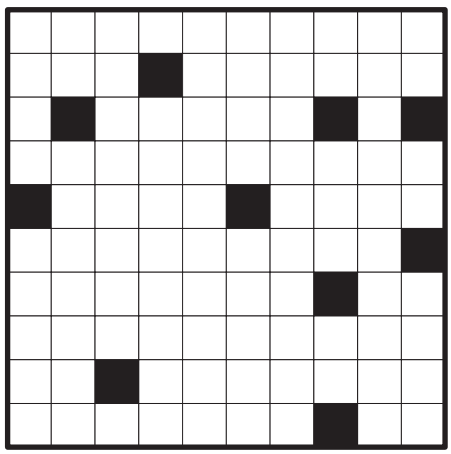
* Kendoku sorusunu çözüp ok doğrultusundaki içeriği yazarak ad, soyad, adres ve telefon bilgileri ile birlikte dusunme.kulesi@tubitak.gov.tr adresine gönderenler arasından çekilişle belirlenecek 10 kişiye TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları tarafından yayımlanmış *Mutlu Beyin* başlıklı kitap hediye edilecektir. Çekiliş sonuçları, dergimizin internet sitesinden önümüzdeki ay içinde duyurulacaktır. Geçen ayın ödüllü Ardışık Sudoku sorusunu doğru yanıtlayanlar arasından çekilişle belirlenerek kitap ödülü kazanan okurlarımızın listesi, internet sitemiz üzerinden duyuruldu.

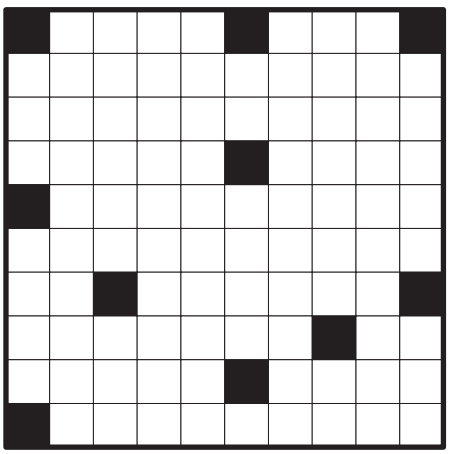


1 ve 2 no.lu okun doğrultusundaki içeriği yazın. Mesela soldaki örnek çözümün ilk satırı 12345 şeklinde yazılmalıdır.

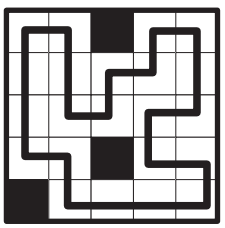
bilimteknik.tubitak.gov.tr

Patika: Diyagramda yatay veya dikey yönde ilerleyerek beyaz hücrelerin tamamından geçen bir patika çizin. Patika kendini kesemez. Patika siyah hücrelerden geçemez.





Patika
Örnek Çözüm



Domino Avı: Diyagrama domino taşları yerleştirilmiş fakat çizgileri silinmiştir. Dominoları birbirinden ayıran çizgileri yeniden çizin. Kullanılacak domino taşları diyagramın altında verilmiştir.

4	2	0	4	6	4	4	3
0	5	5	3	3	6	3	5
6	5	5	2	6	0	1	0
6	1	3	2	2	6	5	2
4	5	6	1	2	0	0	0
3	4	2	1	0	1	2	3
1	1	4	5	1	4	3	6

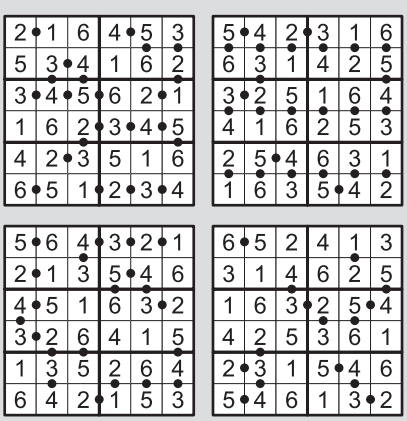
4	2	1	1	1	5	4	6
5	0	6	6	2	2	4	1
5	4	1	0	4	0	0	1
5	6	5	0	0	3	2	0
1	0	2	3	5	3	2	4
5	3	3	2	4	2	6	6
6	5	3	1	4	3	6	3

Domino Avı
Örnek Çözüm

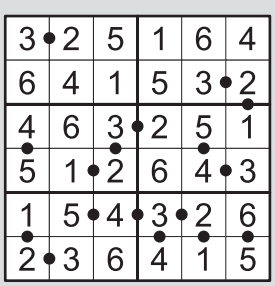
2	4	5	3	5	2
4	4	3	4	5	2
4	5	5	5	3	2
1	1	3	3	1	1
1	4	1	3	2	2

1 1 | 2 2 | 3 3 | 4 4 | 5 5
1 2 | 2 3 | 3 4 | 4 5
1 3 | 2 4 | 3 5
1 4 | 2 5
1 5

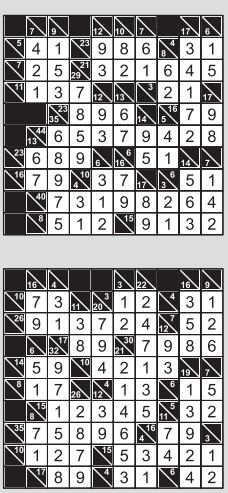
Geçen Sayının Çözümleri



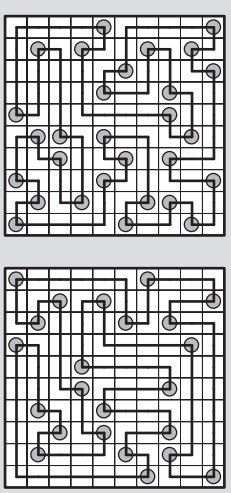
Ardışık Sudoku



Ödüllü Soru: Ardışık Sudoku



Kakuro



Köşe Kapmaca

Satranç

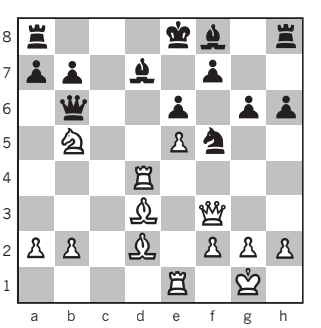
Kıvanç Çefle [*btsatranc@tubitak.gov.tr*

Şahın Uzun Yürüyüşü

"Şah kuvvetli bir taştır. Onu kullanın!" Her satranç oyuncusunun kulağına küpe olan bu söz, ABD'li satranç oyuncusu Reuben Fine'a atfedilmektedir. Fine (1914-1993) özellikle 1930-1940'lı yıllarda dünyanın en kuvvetli oyuncuları arasında yer alıyordu, hatta dünya şampiyonu Alexander Alekhine 1946'da beklenmedik bir şekilde hayatını kaybedince yeni şampiyonu belirlemek için 1948'de yapılacak turnuvaya davet edilen altı oyuncudan biriydi. Ancak Fine bu daveti reddettiği gibi birkaç yıl sonra satrancı tamamen bıraktı ve bir psikoloji profesörü olarak kendini akademik çalışmalara verdi. Bilindiği gibi bu turnuvayı kazanan Mikhail Botvinnik yeni dünya şampiyonu oldu.

Fine, satranç kariyerinde en parlak başarısını, birinciliği Paul Keres ile paylaştığı, 1938'de Hollanda'da düzenlenen AVRO Turnuvası'nda gösterdi. Bu turnuvaya zamanın en kuvvetli sekiz oyuncusu katılmıştı. Zaten yukarıda sözünü ettiğimiz 1948 turnuvasına da AVRO'da yarışmış ve o sırada hayatta olan altı oyuncu davet edilmişti. Şimdi Fine'ın bu turnuvada oynadığı parlak bir kombinezonu sunuyoruz (Diyagram 1).

Diyagram 1
Reuben Fine-Salo Flohr
AVRO Turnuvası, 1938



Fine burada hâlâ rok yapmamış siyah şahın durumundan enerjik bir şekilde yararlanıyor:

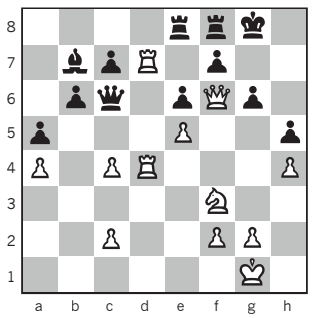
21. Kxd7! Şxd7 22. g4! Ah4 23. Vxf7+ Fe7 22. Fb4 Kae8 25. Fxe7 Kxe7 26. Vf6 a6 27. Kd1 axb5 28. Fe4+ ve siyah terk etti.

Fine, bir psikolog ve kuvvetli bir oyuncu olarak satranç ve psikolojiye ilişkin görüşlerini "Psychology in Chess" isimli eserinde kitaplaştırdı. Bunun dışında birçok öğretici satranç kitabı da yazdı: Bunlardan "*Basic Chess Endings*" (Temel Satranç Oyun Sonları) muhtemelen en ünlüsü olup uzun yıllar satranç oyuncularının başucu kitabı olma özelliğini korudu. Fine, eğer gerçekten yukarıdaki sözü söylemişse muhtemelen şahın oyun sonlarındaki aktif kullanımını kastediyordu. İngilizlerin satrançtaki "harika çocuğu" ve bir dünya şampiyonluk maçına (1993'te Garry Kasparov ile) çıkan ilk oyuncusu olan Nigel Short'un aşağıdaki oyununu gördüyse mutlaka çok şaşırırdı çünkü burada beyaz şah oyun sonunda değil, oyun ortasında cesur bir şekilde düşman hatlarına yaklaşıyor (Diyagram 2).

Diyagram 2

Nigel Short-Jan Timman

Tilburg İnterpolis Turnuvası, 1991



Timman'ın büyük sorunu şu ki şahı rakip vezirin nefesini yüzünde hissediyor ve siyah kareler o kadar zayıf ki Timman'ın veziri oradan kovması imkânsız. Üstelik aynı zayıflık sayesinde beyaz şah pervasızca rakip şahın yanı başına kadar ilerliyor! Aşağıda izleyeceğimiz manevra "zayıf karelerden" (burada siyah kareler) yararlanmanın şık bir örneği:

31. Şh2!! Kc8?!

31…Fc8 32. Ag5 Fxd7 33. g4! hxg4 34. h5 g3+ 35. fxg3 Vxa4 36. h6 Vxc2+ 37. Kd2!! Vxd2+ 38. Şh3 Vxg5 ve beyaz kazanır.

32 Şg3 Kce8 33. Şf4! Fc8 34. Şg5!!

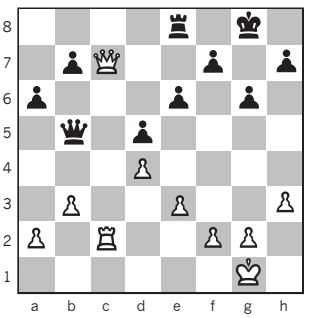
Siyah burada terk etti: 34…Şh7 işe yaramazdı çünkü 35. Kxf7+ Kxf7 36. Vxf7+ Şh8 37. Şh6 ile beyaz kazanırdı.

Sonraki örneğimiz göreceli olarak yakın zamanlardan, 2005 yılındaki İspanya Şampiyonası'ndan. Sıra beyazda ve siyah şahın etrafındaki siyah kareler zayıf. O hâlde beyazın nasıl bir manevra yapacağını tahmin edebiliyoruz (Diyagram 3).

Diyagram 3

M. Rivas Pastor-E. Rodriguez Guerrero

İspanya Şampiyonası, 2005



Oyun şöyle devam etti:

26. Şh2! h5 27. Vf4 Kf8 28. Kc7 a5 29. Şg3 a4 30. Şh4! axb3 31. axb3 Vf1 32. Şg5! h4?

Bu hamle ile siyah oyunu çabucak kaybediyor. 32…Vd3 ile daha uzun süre dayanabilirdi. Gerçi 33. Kxb7'den sonra da bir piyon kazanmış olan beyaz kazanırdı.

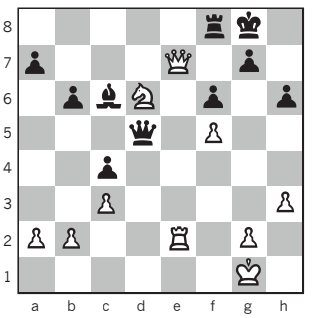
33. Şh6! Ve2 34. f3 f6 35. Kg7+ Şh8 36. Vc7 ve siyah terk etti.

"Tarih tekerrür eder." diye bir söz vardır. Geçmişe baktığımızda Alman satranç oyuncusu Richard Teichmann'ın da (1868-1925) neredeyse yüz yıl önce benzer bir manevra kullandığını görüyoruz. Yukarıdaki oyuncuların bu oyundan haberi var mıydı bilemiyoruz ancak benzer konumsal özelliklerin benzer stratejik manevralara yol açması pekâlâ mümkün (Diyagram 4).

Diyagram 4

Richard Teichmann

Glasgow, 1905 (Konsültasyon oyunu)



Beyazlarla oynayan Teichmann, bu oyunda birbirlerine danışarak ortak bir hamlede karar kılan bir oyuncular grubuna karşı mücadele ediyordu. Böyle oyunlara "konsültasyon oyunu" deniyor. Oyun şöyle devam etti:

1. Şh2! b5 2. Şg3 a5?

2…Vd3+ 3. Şh4 Şh7! daha doğru olurdu.

3. Şh4 g6? 4. Ke3 Vxg2 5. Kg3 Vf2 6. fxg6 Vf4+ 7. Kg4 Vf2+ 8. Şh5 Ff3 9. Vh7#.

Bu kez beyaz karelerdeki zayıflığın kullanılışını görüyoruz. Teichmann hem Capablanca hem de Lasker'in takdirini kazanmış güçlü bir oyuncuydu. Turnuvaları sıklıkla beşinci sırada bitirdiği için çağdaşları ona "Beşinci Richard" lakabını takmıştı. Geçirdiği rahatsızlık nedeniyle bir gözü görmese de taktik görüşü hayli keskin olan Teichmann "Satranç %99 taktiktir." özdeyişi ile de hatırlanır.

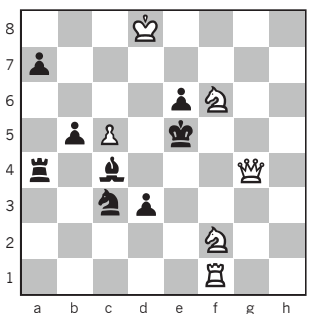
Kubra Cavus / iStock

Ayın Soruları

Yukarıda bir oyunundan kesit sunduğumuz Richard Teichmann'ın satranç problemleri de kurduğu biliniyor. Ayın problemleri olarak onun iki kurgusunu sunuyoruz.

Diyagram 5

Richard Teichnmann



Neue Dürcher Zeitung, 1906

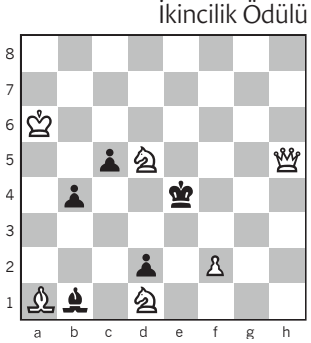
Beyaz oynar ve iki hamlede mat eder.

Diyagram 6

R. Teichmann

British Chess Magazine, 1906

İkincilik Ödülü

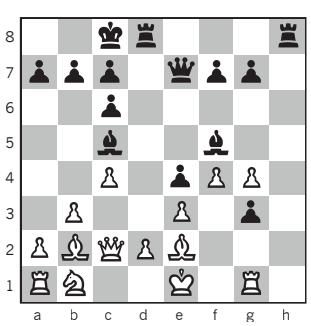


Beyaz oynar ve üç hamlede mat eder.

Geçen Ay Sorulan Problemlerin Çözümleri

Geçen ay yakınlarda hayatını kaybeden eski dünya şampiyonlarından Boris Spassky hakkında bir yazı yazmış ve onun oyunlarında ortaya çıkan iki kritik pozisyonu, ayın soruları olarak sormuştuk. Şimdi bunların çözümlerini veriyoruz. İlk sorumuz Spassky'nin "Ölmez Partisi" olarak da bilinen ve Danimarka'lı Bent Larsen'e karşı kazandığı sansasyonel bir oyundan alınmıştı (Diyagram 7).

Diyagram 7



Larsen-Spassky

Sovyetler Birliği-Dünya, 1970

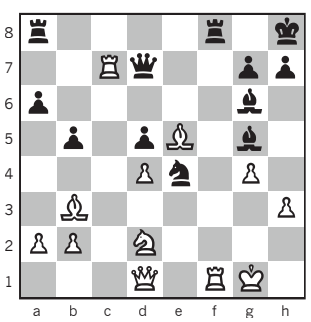
Bu konumda hamle sırası siyahlarla oynayan Spassky'deydi. Nasıl kazandı? Çözüm:

14...Kh1!! 15. Kxh1 g2 16. Kf1

16. Kg1 Vh4+ 17. Şd1 Vh1 18. Vc3 Vg1 19. Şc2 Vf2 20. gxf5 Ve2 21. Aa3 Fb4-+)

16...Vh4+ 17. Şd1 gxf1=V ve beyaz terk etti.

Sonraki sorumuz Spassky'nin şık bir kombinezonla kazandığı bir oyundan alınmıştı.



Diyagram 8

Geller-Spassky

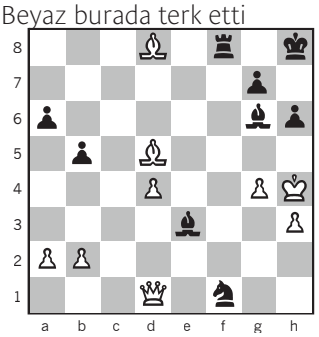
USSR Zonal, 1964

Sıra siyahta, nasıl kazandı? Spassky, burada şöyle devam etti:

23...Vxc7!! 29. Fxc7 Fe3+ 25. Şg2 Axd2 26. Kxf8+ 26. Kf5 Fxf5 27. gxf5 Kxf5 28. Fg3 Kf1 29. Ve2 Kg1 30. Şh2 Af1 ve siyah kazanır.

26...Kxf8 27. Fd5 Kf2+ 28. Şg3 Af1+ 29. Şh4 h6 30. Fd8 Kf8 (31...Ff2# tehdidiyle).

Beyaz burada terk etti



(Diyagram 9).

Diyagram 9

Beyaz, vezirinden vazgeçmeden 31...Ff2# tehdidini önleyemez. Eğer 31. g5 Kf4+ ise Geller burada terk etti. ■

Ayın Sorusu

Prof. Dr. Azer Kerimov [*bteknik@tubitak.gov.tr*

Bilkent Üniversitesi Fen Fakültesi
Matematik Bölümü

Soruyu çözüp cevabı ad, soyad, adres ve telefon bilgileri ile birlikte bteknik@tubitak.gov.tr adresine gönderenler arasından çekilişle belirlenecek beş kişiye TÜBİTAK Popüler Bilim Yayınları'ndan bir kitap hediye edeceğiz:

Bu ay:
Fizik Bize Ne Anlatıyor?

Çözümü ile birlikte gönderilmeyen cevaplar değerlendirmeye alınmayacaktır.

Doğru çözüm ve çekiliş sonuçları dergimizin internet sitesinden önümüzdeki ay içinde duyurulacaktır.

bilimteknik.tubitak.gov.tr

Bilgecan Dede'nin Keselere Yerleştirdiği Boncuk Sayılarının Tahmin Edilmesi

Keloğlan ve arkadaşı Sivri, Bilgecan Dede'nin düzenlediği bir oyuna katılır. Oyunun kurallarına göre ilk önce Bilgecan Dede, Keloğlan ve Sivri'yi birbirinden yeterince uzak iki farklı odaya yerleştirir. Bundan sonra Bilgecan Dede hem Keloğlan'a hem de Sivri'ye birer kese verir. Bu iki keseden her birinin içinde en az 21 ve en fazla 36 boncuk bulunacaktır ve bu iki keseden biri diğerinden ya tam olarak 5 ya da tam olarak 11 tane daha çok boncuk içerecektir. Örnek olarak Keloğlan ve Sivri'nin keselerindeki boncuk sayılarından oluşan ikililer (23, 28) ya da (35, 24) olabilir.

İlk önce Keloğlan ve Sivri kendi keselerindeki boncukları sayar. Bundan sonra Keloğlan'ın amacı kendi kesesindeki boncuk sayısını Sivri'ye, Sivri'nin amacı ise kendi kesesindeki boncuk sayısını Keloğlan'a iletmektir.

Bu iki odanın her birinde 100'er fındık var. Keloğlan kendi odasındaki 100 fındıktan istediği miktardaki fındığı Bilgecan Dede aracılığıyla Sivri'ye ve benzer şekilde Sivri de kendi odasındaki 100 fındıktan istediği miktardaki fındığı Bilgecan Dede aracılığıyla Keloğlan'a gönderecektir. Keloğlan ve Sivri'nin gönderecekleri fındık sayılarına aynı anda karar vermeleri gerekiyor. Bu işlemden sonra hem Keloğlan hem de Sivri'nin, arkadaşının ona gönderdiği fındık sayısı bilgisine dayanarak, arkadaşının kesesindeki boncuk sayısını doğru olarak tahmin etmesi gerekiyor. Her iki arkadaşın tahmini doğru ise hem Keloğlan hem de Sivri, arkadaşından aldığı fındıkları kazanmış oluyor.

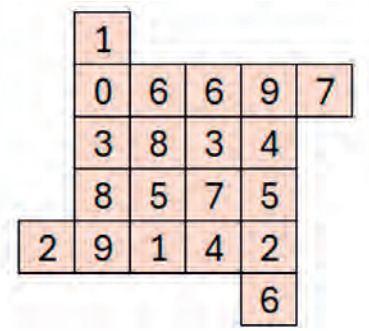
Keloğlan ve Sivri'nin amacı kazandıkları toplam fındık sayısının mümkün oldukça fazla olmasıdır. Bilgecan Dede, oyun başlamadan hem Keloğlan hem de Sivri'ye oyunun tüm kuralarını anlatır. Bundan sonra bu iki arkadaş kendilerinin ortak oyun stratejisini aralarında tartışır ve kazanacakları toplam fındık sayısının mümkün oldukça fazla olması için birlikte nasıl hareket edeceklerine karar verir. Örnek olarak Keloğlan ve Sivri'nin ortak stratejilerinin kendi keselerindeki boncuk sayısı kadar fındık göndermek olduğunu varsayalım. Bu durumda Bilgecan Dede, keselere 25 ve 30 boncuk yerleştirdiğinde Keloğlan ve Sivri toplamda 30+25=55 fındık kazanmış olacak. Ya da Keloğlan ve Sivri'nin ortak stratejilerinin kendi keselerindeki boncuk sayısının 100 sayısına tamamlamak için gereken sayıda fındık göndermek olduğunu varsayalım. Bu durumda Bilgecan Dede, keselere 25 ve 30 boncuk bocuk yerleştirdiğinde Keloğlan ve Sivri toplamda (100-30)+(100-25)=145 fındık kazanmış olacak.

Fındık iletme işlemi sadece bir kez yapılıyor. İki boncuk sayısı tahmininden herhangi biri yanlış olursa bu iki arkadaştan hiçbiri fındık kazanmıyor. Keloğlan ve Sivri, oyundan önce uygulanabilecek en iyi stratejiyi belirleyip bu stratejiyi uygulayarak Bilgecan Dede'nin keselere yerleştireceği boncuk sayılarından bağımsız şekilde, her zaman en az N fındık kazanmayı garantileyebiliyorlarsa N sayısının alabileceği en büyük değer kaçtır? Bu stratejiyi açıklayınız ve N sayısının neden daha fazla olamayacağını gösteriniz. ■

Zekâ Oyunları

Emrehan Halıcı [*zeka.oyunlari@tubitak.gov.tr*

SAYI TABLOSU



Karelerdeki rakamları dolaşarak bir sayı oluşturacaksınız.
-İstediğiniz bir kareden başlayabilirsiniz.
-Her adımda bulunduğunuz kareden yatay veya dikey komşu bir kareye geçebilir ve o karedeki rakamı sayınızın sonuna eklersiniz.
-Her karede en fazla bir kez bulunabilirsiniz.
-Ardışık iki karedeki rakamların pariteleri farklı olmalıdır yani iki tek sayı veya iki çift sayı yan yana gelmemelidir.

Bu koşullara göre oluşturabileceğiniz en büyük sayı kaçtır?

KODLAR

Sadece A ve B harflerini kullanarak 9 harf uzunluğunda kodlar üreteceksiniz. Koşulumuz, hiçbir kodda "AAA" ve "BAB" ifadelerinin bulunmaması.

Bu koşula göre kaç farklı kod üretilebilir?

Örnek:
Aynı soru 5 harf uzunluğundaki kodlar için sorulsaydı 13 farklı kod üretilebilirdi:
AABAA, AABBA, AABBB, ABAAB, ABBAA, ABBBA, ABBBB, BAABA, BAABB, BBAAB, BBBAA, BBBBA, BBBBB.

BEŞ KİŞİ

A, B, C, D ve E diye adlandırdığımız beş kişi 23, 28, 33, 38 ve 43 yaşlarındadır. Meslekleri doktor, mühendis, öğretmen, ressam ve avukat olan bu beş kişi İstanbul, Ankara, İzmir, Antalya ve Bursa'da yaşamaktadır.

Bu kişilerle ilgili şu bilgiler bilinmektedir:

-B, Ankara'da yaşıyor.
-33 yaşındaki kişi, Bursa'da yaşıyor.
-Ressam, İzmir'de yaşıyor.
-C ne ressamdır ne de Bursa'da yaşıyor.
-Doktor, mühendisten 5 yaş küçüktür.
-Antalya'da oturan kişi, mühendisten 10 yaş büyüktür.
-Avukatın yaşı, İstanbul'da oturan kişinin yaşından 5 fazladır.
-Öğretmen, A'dan 5 yaş büyüktür.
-Öğretmen ne İzmir'de ne de İstanbul'da yaşıyor.
-D, 38 yaşındadır.

Bu bilgileri kullanarak her birinin yaşını, mesleğini ve yaşadığı şehri bulunuz.

KODLANAN SAYI

1 ile 9999 arasındaki bir tam sayı aşağıdaki kurallara göre kodlanıyor.

-Sayı 3'e bölünüyorsa ve çiftse kendisinden küçük en büyük palindromik sayıyla (soldan sağa ve sağdan sola dizilimi aynı olan sayılar) kodlanır.
-Sayıda tekrar eden rakamlar varsa kendisine en yakın tam kare bir sayıyla kodlanır.
-Sayı tam kareyse ve basamaklarının toplamı 3'e bölünüyorsa kendisinin 100 fazlasıyla kodlanır.

676 ile kodlanan bir sayı en fazla kaç olabilir?

KENDİSİ VE TERSİ

Her rakamı farklı olan ve kendisinden tersi çıkartıldığında elde edilen sayının tüm basamaklarında aynı rakam bulunan en büyük sayı kaçtır?

KAR YAĞMA OLASILIĞI

Bir bölgede rastgele seçilmiş herhangi bir gün için kar yağma olasılığı x'tir. Kar yağan bir günü izleyen günün kar yağma olasılığı y, kar yağmayan bir günü izleyen günün kar yağma olasılığı ise z olarak verilmiştir.

Buna göre art arda üç gün içinde tam olarak iki gün kar yağma olasılığı nedir?

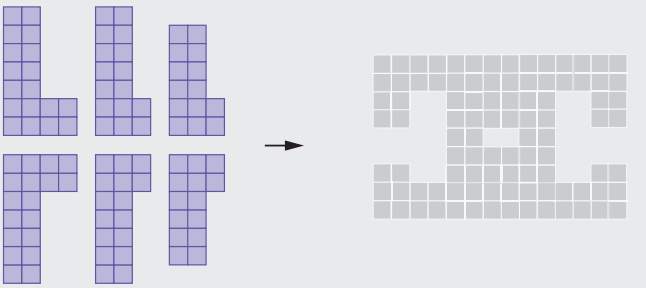
SORU İŞARETİ

Soru işaretinin yerine ne gelecek?

DBEFCA	FBEACD
BDAFCE	CAEBFD
CFBEAD	ECAFDB
FEABDC	?

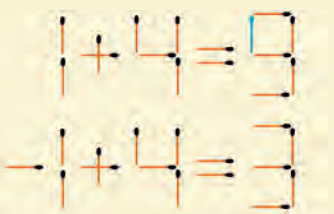
ALTI "L"

Altı "L" parçasını bir araya getirerek sağdaki şekli elde ediniz. Parçalar döndürülebilir ve ters çevrilebilir.

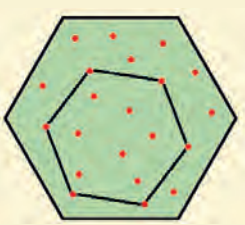


GEÇEN SAYININ ÇÖZÜMLERİ

KİBRİT İŞLEM



ALTIGEN BUL



SORU İŞARETİ

1211021 gelecek.
Takip eden harfin alfabetik sırası artıyorsa 2, azalıyorsa 1, aynıysa 0 yazılıyor.

ELLİ İKİ	201021
KIRK İKİ	121121
OTUZ İKİ	222121
YİRMİ İKİ	1211021

SATRANÇÇILAR

a) 9
b) 16

Örnek dağılımlar:

OYUNCU	OYNADIKLARI
1	23456789
2	13456789
3	12456789
4	12356789
5	12346789
6	12345789
7	12345689
8	12345679
9	12345678

OYUNCU	OYNADIKLARI
1	2345DEFG
2	1345EFG
3	124567FG
4	1235678G
5	12346789
6	2345789A
7	345689AB
8	45679ABC
9	5678ABCD
A	6789BCDE
B	789ACDEF
C	89ABDEFG
D	9ABCEFG1
E	ABCDFG12
F	BCDEG123
G	CDEF1234

SU ŞİŞELERİ VE BARDAKLAR

90 farklı dağılım olabilir.

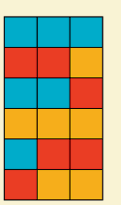
SPOR KULÜBÜ

9 öğrenci (7 futbolcu, 2 basketbolcu, ya da 2 futbolcu, 7 basketbolcu).
C(7,2).C(2,1)+ C(7,1).C(2,2)=49

SAYI DENEYİ

c) Eşittir.
Bu deneyi çok kez tekrarlamak yerine aynı anda çok sayıda bilgisayara yaptırdığımızı varsayalım. Örneğin x sayıda bilgisayar olsun. İlk adımda yaklaşık x/2 bilgisayarın çift sayı, x/2 bilgisayarın ise tek sayı üretmesi beklenir. Yani ilk adımda çift sayı üretme olasılığı %50'dir. Tek sayı gelen x/2 bilgisayarda deney devam eder. İkinci adımda bu bilgisayarların yaklaşık x/4'ü çift sayı, x/4'ü tek sayı üretir. Burada da çift sayı üretme olasılığı yine %50'dir. Bu süreç her adımda aynı şekilde devam eder ve her adımda çift sayı üretme olasılığı %50 olduğu için deney sonunda toplamda üretilen çift ve tek sayıların oranının eşit olması beklenir.

KARE BOYAMA

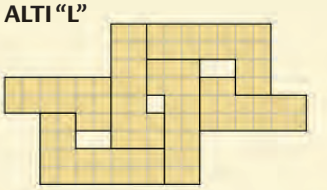


Sol üstteki kareden başlayıp sağa doğru ve sonra aşağıya doğru gidildiğinde renkler mavi, kırmızı, sarı olarak ilerliyor. Her renk için kare sayıları da (3-2-1)-(2-1-3)-(1-3-2) oluyor.

ÇİFT RAKAMLAR

206808

ALTI "L"



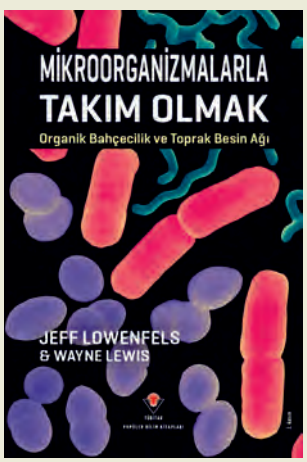
Yayın Dünyası

Dr. Özlem Kılıç Ekici [*TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

Mikroorganizmalarla Takım Olmak Organik Bahçecilik ve Toprak Besin Ağı

Jeff Lowenfels , Wayne Lewis
Çeviri: Deniz Candaş

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları,
Yetişkin Kitaplığı, 2024 (2. Basım)



Sağlıklı toprak yaşamla dolup taşar. Toprakta sadece solucanların ve böceklerin değil; şaşırtıcı sayıda bakteri, mantar ve diğer mikroorganizmaların koca bir dünyası var. Kimyasal gübre kullandığımızda, sağlıklı bitkileri besleyen bu dünyaya zarar veriyoruz. Üstelik sadece toprak için değil, tüm canlılar için toksik olan yapay maddelere gittikçe daha bağımlı hâle geliyoruz. Ancak bu kısır döngüye bir alternatif var: Toprak besin ağını yok etmek yerine güçlendirecek şekilde bahçecilik yapmak. Toprak besin ağı, etkileşimleri bitkiler için besleyici bir ortam oluşturan, toprakta yaşayan organizmaların derin ve hâlâ tam olarak keşfedilmemiş dünyası... Bu kitap, organik bahçecilik tekniklerine gönül verenlerden sağlıklı ve güçlü bitkiler yetiştirmek isteyenlere kadar tüm okurlara sade bir dille toprak besin ağının faydalarını anlatıyor.

Besin Maddeleriyle Takım Olmak Organik Bahçecilikte Bitki Besin Maddelerinin Etkin Kullanımı

Jeff Lowenfels
Çeviri: Deniz Candaş

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları,
Yetişkin Kitaplığı, 2021 (1. Basım)

Bu kitap, bitki besin maddelerinin tanımına, nasıl çalıştıklarına, bitkilere nasıl uygulandıklarına ve bitkileri nasıl etkilediklerine odaklanıyor. Bitki yetiştirmenin arkasındaki bilimi anlaşılır bir dille gözler önüne seriyor ve bitki türlerine göre hazırlanmış organik gübre tarifleri sunuyor. Bu kitap, besin maddelerinin sağlıklı, üretken ve organik bahçelerdeki rolünü anlamanızı sağlayacak.

Gizem ve Uzay Arıları

Sol Regwan
Çeviri: Dr. Tuncay Baydemir
Çizer: Denise Muzzio

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları,
7 yaş +, 2025 (1. Basım)

Gizem, o gün bahçede bir tuhaflık hissetti. Arılar neredeydi? Peki, arıların geri dönmesiyle uzay müzesinin nasıl bir bağlantısı olabilir? Yanıt, Gizem'in uzay projesinde saklı.